

УДК 616.71-007.64-018-089.818.3

**РЕАКЦИЯ НЕРВНЫХ СТРУКТУР НА ДОЗИРОВАННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ
ТКАНЕЙ ПРИ УДЛИНЕНИИ КОНЕЧНОСТИ****¹Кудрявцева И.П., ²Сафонова Г.Д., ¹Бердюгин К.А.**¹ФГБУ «Уральский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина» Минздрава России, Екатеринбург, e-mail: berolga73@rambler.ru;²ФГБУ «Уральский научно-исследовательский институт дерматовенерологии» Минздрава России, Екатеринбург

Представленный обзор посвящен анализу литературы по актуальному вопросу современной травматологии и ортопедии – реакции нервных структур двигательного анализатора на длительное дозированное растяжение в условиях чрескостного остеосинтеза по методике Г.А. Илизарова при удлинении сегментов конечности при лечении заболеваний и последствий повреждения опорно-двигательной системы. Показано, что в исследуемых тканях наблюдается выраженная реакция со стороны нервных окончаний, волокон периферических и спинномозговых нервов, первых сенсорных нейронов, мотонейронов, глиоцитов. В обзоре представлены сведения об изменении морфофункционального состояния нервных клеток спинномозговых ганглиев в ответ на различную интенсивность, дробность и длительность дозированного растяжения. Наличие структурных изменений в периоде после снятия аппарата внешней фиксации свидетельствует о длительности адаптационно-приспособительных процессов в удлинённом сегменте конечности.

Ключевые слова: удлинение конечности, нервные волокна и окончания, сенсорные нейроны, мотонейроны**REACTION OF NEURAL STRUCTURES FOR DOSATED NERVOUS TISSUES
SPRAIN DURING LIMB LENGTHENING****¹Kudryavtseva I.P., ²Safonova G.D., ¹Berdyugin K.A.**¹Ural Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. V.D. Chaklin, Health Ministry of Russia, Yekaterinburg, e-mail: berolga73@rambler.ru;²Ural Scientific Research Institute of Dermatovenereology Health Ministry of Russia, Yekaterinburg

The presented overview concerns to the literature analysis of topical issues in the modern traumatology and orthopedics, namely the reaction of motor analyzer's nervous structures to the long measured strain under transosseous osteosynthesis by Ilizarov technique for lengthening limb segments at the treatment of musculoskeletal system diseases and injuries consequences. It is shown that in the studied tissues there was observed pronounced reaction of the nerve endings, peripheral and spinal nerves fibers, the first sensory neurons, motoneurons and glial cells. The article presents information about modifying morphofunctional state of the spinal ganglia nerve cells in response to various intensity, granularity and duration of the measured stretching. The presence of structural changes in the period after removal external fixation device evidenced the duration adaptive processes in the lengthened limb segment.

Keywords: limb lengthening, nerve fibers and endings, sensory neurons, motoneurons

Изучение проблемы опосредованного воздействия дозированного растяжения при увеличении длины конечности на мягкотканые компоненты удлиняемого сегмента представляет значительный научный и практический интерес. В монографии Р. Гранит «Основы регуляции движений» (1973) подробно представлены сведения из области морфологии и физиологии экстрафузальной мускулатуры, мышечных веретен и сухожильных рецепторов, а также вопросы участия спинного мозга, мозгового ствола, мозжечка и сенсомоторной коры, механизмы центральной регуляции чувствительности мышечных рецепторов [1]. В регуляции импульсной активности спинальных мотонейронов непосредственное участие принимают различные структурные компоненты конечности, включающие сенсорный аппарат кожного покрова, скелетных мышц, надкостницы. Механорецепторы функционально и морфологически

тесно связаны с системой экстрафузальных мышечных волокон, сухожилий, соединительнотканых перегородок и фасций. Особенно важная роль в восприятии происходящих изменений в процессе удлинении конечности принадлежит первым сенсорным нейронам в составе двигательного анализатора – чувствительным клеткам спинномозговых ганглиев. При этом наблюдаемые изменения морфофункционального состояния нейроцитов спинномозговых ганглиев, непосредственно получающих проприоцептивную, болевую и прочие виды информации от анатомических компонентов удлинённого сегмента конечности, является адекватным отражением происходящих регенераторных и адаптационных процессов, наличия дополнительной нагрузки в периодах до снятия аппарата, а также вследствие изменения двигательного режима в процессе удлинении конечности [11]. Механизмы формирования постди-

стракционной сенсомоторной недостаточности, связанной с глубокими перестройками в периферической части двигательных единиц, обусловлены возникновением и развитием несоответствия генетически предопределенных и сформированных в онтогенезе центральных моторных программ исполнительным возможностям эффекторов при хроническом дозированном растяжении мягких тканей, а также формированием дефицита адекватного сенсорного обеспечения движений с участием удлинённой конечности [16]. Прослеживается корреляция между нейрофизиологическими характеристиками выраженности неврологических расстройств, возникающих в процессе дистракционного остеосинтеза, величиной удлинения и темпами дистракции. В начале становления метода Илизарова (1972–1978), наряду с изучением строения костного регенерата, формируемого в процессе дистракции, проведены исследования нервных структур, расположенных в параоссальных тканях [2, 6, 7, 8]. Установлено, что в мышцах беспородных собак и их структурных компонентах развивается комплекс реактивных изменений и микротравматизации с явлениями гетерогенной деструкции и новообразования мышечных волокон [2]. Известно, что различные типы мышечных волокон неодинаково реагируют на дозированное растяжение. Наиболее чувствительны к механическому воздействию и ишемии толстые мягкотные волокна, соответствующие афферентам мышечных веретен и сухожильных рецепторов Гольджи, а также эфферентам быстрых двигательных единиц [1]. При удлинении конечности в зоне синаптических бляшек наблюдается как деструкция, так и реактивные изменения, прослеживаются аналогичные изменения претерминалей и мышечных веретен [2, 6, 8, 12]. При этом присутствуют и репаративные процессы в зоне терминального ветвления аксонов с образованием синапсов эмбрионального типа [14]. Наиболее подробно изучено состояние периферических нервов удлиняемого сегмента конечности при различных режимах дистракции. В большей части нервных волокон прослеживались умеренные изменения контуров, однако уже в конце периода дистракции наблюдались проявления варикозности в части нервных волокон стволов периферических нервов, вплоть до формирования четкообразности [2, 3, 5, 6, 7]. Известно, что высокая чувствительность нервов к растяжению обусловлена их слабыми эластическими свойствами. В нервных стволах в процессе дистракции изменение проводниковой

функции прослеживается не только в зоне непосредственного растяжения, но в дистальном и в проксимальном направлениях. Морфометрические исследования позволили выявить удлинение интернодалных интервалов в процессе дистракции [4]. С точки зрения подбора режима дистракции особенно важно изучение морфофункционального состояния чувствительных нейроцитов спинномозговых ганглиев, принимающих участие в иннервации конечности [11, 12]. Так, в составе дорсальных корешков спинномозговых нервов, состоящих преимущественно из центральных отростков первых сенсорных клеток, в периоде дистракции прослеживались изменения функционального характера. В периоде фиксации наблюдалось некоторое усиление данных проявлений как в ипси-, так и контралатеральных корешках, частично нивелировавшееся в периоде после снятия аппарата с конечности экспериментального животного. Г.Д. Сафоновой и В.И. Калякиной (1991) показаны изменения морфофункционального состояния нейроцитов спинномозговых ганглиев взрослых беспородных собак при удлинении голени на 5 см – до 30% от исходной длины. Выявлено, что в процессе удлинения до 3 см изменения состояния нейронов носят функциональный характер, в последующем, при использовании постоянного режима дистракции в перикарионе части нейронов прослеживаются необратимые преобразования [10]. В экспериментально-морфологических исследованиях Л.Н. Кочутиной (1992) и И.П. Кудрявцевой (1992) отражены вопросы регенерации мышц и сухожилий, состояния эфферентной части рефлекторной дуги при больших удлинениях методами моно- и биллокального дистракционного остеосинтеза по Илизарову. Отмечено, что в процессе увеличения голени до 50% от исходной длины выявляются значительные изменения структуры мотонейронов, нервных волокон большеберцового нерва, отражена роль гипокинезии и недостаточности кровообращения в условиях чрезмерного растяжения нервных стволов, показаны преимущества биллокального остеосинтеза [3, 5]. Дистрофические изменения мотонейронов сопровождались признаками внутриклеточной регенерации, которые появлялись в начале растяжения голени, нарастали к середине периода дистракции в обеих сериях эксперимента и были наиболее выражены в периоде фиксации, после прекращения растяжения. Они проявлялись в виде большого количества рибосом на мембранах эндоплазматической сети, обнаруживались свободно лежащие рибосомы,

формирующие полисомы, отмечалась гиперплазия митохондрий, конденсация хроматина на отдельных участках под оболочкой ядра, гипертрофия пластинчатого комплекса Гольджи. Наблюдалась и клеточная форма регенерации (увеличение количества эпендимоцитов, скопление клеток микроглии вокруг нейронов). Нейрогистологические и количественные исследования, выполненные с использованием материала экспериментов, в которых выполнено удлинение конечности на 16–18% с применением различных режимов distraction, позволили установить, что морфофункциональное состояние сенсорных нейроцитов, воспринимающих информацию от различных анатомических компонентов удлиненного сегмента конечности, изменяется в течение эксперимента. Наиболее значительные преобразования структуры большинства чувствительных нервных клеток прослеживаются после выполнения distraction, при этом наблюдается снижение в 2–3 раза количества нейроцитов различных популяций, имеющих нормальную структуру, в сочетании с соразмерным увеличением количества клеток с наиболее выраженными структурными преобразованиями, функционирующих в режиме напряжения. Они отражают последовательность и нарастание изменений – от возникновения признаков аксональной реакции в периоде distraction (смещение ядерно-ядрышкового аппарата при нормохромии) до появления максимального количества крупных клеток с умеренным периферическим хроматолизом и центральным положением ядерно-ядрышкового аппарата в периоде фиксации, что связано функционированием клеток в режиме напряжения длительный период времени. Наличие сочетанных структурных изменений в 33–38% сенсорных нейроцитов свидетельствует о максимальной нагрузке на рецепторный аппарат данных клеток в периодах distraction и фиксации. Присутствие описанных морфофункциональных изменений в периоде после снятия аппарата также является свидетельством подвижности структуры нейрона в соответствии с выраженностью и временем воздействия на рецепторный аппарат, обусловлено длительностью адаптационных процессов и изменением двигательного режима с необходимостью использования конечностей неравной длины, о чем свидетельствует, в частности, некоторое увеличение количества данных клеток в популяции крупных, проприорецептивных нейронов [11, 12]. Установлено, что глиальная реакция на дозированное растяжение тканей прослеживается во все перио-

ды эксперимента – distraction, фиксации, после снятия аппарата, как на стороне удлинения конечности, так и контралатерально [14]. Наиболее значительные преобразования обнаружены в ипсилатеральных ганглиях при темпе удлинения 3 мм в сутки через 30 суток фиксации конечности в аппарате, включающие изменения компенсаторного характера и максимально выраженную глиальную реакцию. Достоверное увеличение количества глиоцитов выявлено как в составе капсулы, так и в межнейронных пространствах, что свидетельствует о возможности деления глиоцитов и перемещения их к нервным клеткам, функционирующим в режиме усиления трофических взаимодействий [11]. Имеются единичные исследования, в которых показано, что при переломах костей в спинномозговых ганглиях, иннервирующих поврежденный сегмент конечности, изменения в состоянии нейроцитов сопровождаются увеличением количества сателлитов [15]. Наряду с проявлением компенсаторных и регенераторных процессов на уровне клетки прослеживается увеличение количества перинейронных глиоцитов в сочетании с изменением либо сохранением структуры нейронов. Усиление глиальной реакции происходит в условиях, требующих повышенного трофического взаимодействия в системе «нейрон – глия», связанного с увеличением функциональной активности нейрона [9].

Таким образом, при удлинении конечности прослеживаются морфофункциональные изменения в единой системе двигательного анализатора, отражающие как воздействие длительного дозированного растяжения тканей, так и компенсаторные возможности нервных клеток при необходимости усиления трофических взаимодействий.

Список литературы

1. Гранит Р. Основы регуляции движений: пер. с англ. / под ред. В.С. Гурфинкеля. – М.: Мир, 1973. – 367 с.
2. Динамика изменений в мышцах, их внутриорганных кровеносных сосудах и нервах при удлинении голени distractionно-компрессионным аппаратом / Ю.Ю. Колонтай, Л.И. Смирнова, В.И. Стецула, В.М. Яковлев // Теоретические и практические аспекты чрескостного компрессионного и distractionного остеосинтеза. – Курган, 1976. – С. 60–62.
3. Кочутина Л.Н., Кудрявцева И.П. Изменения нервных проводников и их концевых аппаратов в мышцах и коже при больших одноэтапных удлинениях конечности по Илизарову // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. – 1990. – Т. 98, № 4. – С. 24–31.
4. Карымов Н.Р. Изменения нервов удлиняемого сегмента конечности при разной дробности distraction (морфофункциональное исследование): автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Пермь, 1995. – 24 с.
5. Кудрявцева И.П. Морфологические изменения нейроструктур эфферентной части рефлекторной дуги при

одноэтапном удлинении голени методами моно- и биллокального distractionного остеосинтеза аппаратом Илизарова: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Челябинск, 1995. – 24 с.

6. Кузнецова А.Б., Берко В.Г. Влияние distractionии по методу Илизарова на состояние нервного аппарата мышц в эксперименте // Теоретические и практические аспекты chreskostnogo kompressionnogo i distractionnogo osteosinteza. – Курган, 1976. – С. 62–64.

7. Мажара Н.Н. Изменения нервных стволов и кровеносных сосудов голени при ее удлинении: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Днепропетровск, 1974. – 22 с.

8. Морфологические изменения крупных нервных стволов и нервно-мышечного аппарата голени при ее дозированной удлинении / Л.А. Смирнова, Л.И. Беленко, Н.Н. Мажара. В.М. Яковлев // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1972. – № 8. – С. 37–44.

9. Ройтбак А.И. Глия и ее роль в нервной деятельности. – СПб.: Наука, 1993. – 352 с.

10. Сафонова Г.Д., Калякина В.И. Влияние разных режимов distractionии на состояние нейроцитов чувствительных узлов при больших удлинениях голени в эксперименте по Илизарову // Distractionный остеосинтез в клинике и эксперименте: сб. науч. тр. – Курган, 1988. – С. 100–104.

11. Сафонова Г.Д., Коваленко А.П. Характеристика морфофункционального состояния нейроцитов спинномозговых ганглиев собак в постdistractionном периоде // Морфология. – 2005. – Т. 127, Вып. 2. – С. 44–47.

12. Сафонова Г.Д., Коваленко А.П. Динамика структурных изменений нейроцитов спинномозговых ганглиев после удлинения конечности собак аппаратом Илизарова с применением интрамедуллярных спиц // Российские морфологические ведомости. – 2006. – № 1–2. – Приложение № 1. – С. 258–260.

13. Сафонова Г.Д., Чикорина Н.К. Влияние длительных distractionных воздействий при удлинении конечности на состояние рецепторного аппарата икроножной и большеберцовой мышц // Системные и клеточные механизмы в физиологии мышечной деятельности: сб. науч. тр. РАН, факультет фундаментальной медицины МГУ им. М.В. Ломоносова, 1–4 февраля 2011 г. – М., 2011. – С. 86.

14. Сафонова Г.Д. Характеристика трофических взаимодействий в системе «нейрон-глия» поясничных спинномозговых ганглиев при различных условиях удлинения голени в эксперименте // Илизаровские чтения: материалы науч.-практ. конф. с межд. участием, посвящ. 90-летию со дня рождения академика Г.А. Илизарова, 40-летию РНЦ «ВТО», 8–10 июня 2011 г. – Курган, 2011. – С. 498.

15. Смирнова Л.А. Травма костных нервов и репаративная регенерация. – Киев: Здоров'я, 1970. – 215 с.

16. Шейн А.П., Сайфутдинов М.С., Криворучко Г.А. Локальные и системные реакции сенсомоторных структур на удлинение и ишемию конечностей. – Курган: ДАММИ, 2006. – 284 с.

References

1. Granit R. Osnovy reguljacji dvizhenij: per. s angl. / pod red. V.S. Gurfinkelja. M.: Mir, 1973. 367 p.

2. Dinamika izmenenij v myshchah, ih vnutriorgannyh krovenosnyh sosudah i nervah pri udlinenii goleni distractionno-kompressionnym apparatom / Ju.Ju. Kolontaj. L.I. Smirnova, V.I. Stecula, V.M. Jakovlev // Teoreticheskie i prakticheskie aspekty chreskostnogo kompressionnogo i distractionnogo osteosinteza. Kurgan, 1976. pp. 60–62.

3. Kochutina L.N., Kudrjavceva I.P. Izmenenija nervnyh provodnikov i ih koncevnyh apparatov v myshchah i kozhe pri bol'shih odnojetapnyh udlinenijah konechnosti po Ilizarovu // Arhiv anatomii, gistologii i jembriologii. 1990. T.98, no. 4. pp. 24–31.

4. Karymov N.R. Izmenenija nervov udlinjaemogo segmenta konechnosti pri raznoj drobnosti distractionii (morfofunkcional'noe issledovanie): avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Perm', 1995. 24 p.

5. Kudrjavceva I.P. Morfologicheskie izmenenija nejrostruktur jefferentnoj chasti reflektornoj dugi pri odnojetapnom udlinenii goleni metodami mono- i bilokal'nogo distractionnogo osteosinteza apparatom Ilizarova: avtoref. dis. ... kand.med.nauk. Cheljabinsk, 1995. 24 p.

6. Kuznecova A.B., Berko V.G. Vlijanie distractionii po metodu Ilizarova na sostojanie nervnogo apparata myshc v jeksperimente // Teoreticheskie i prakticheskie aspekty chreskostnogo kompressionnogo i distractionnogo osteosinteza. Kurgan, 1976. pp. 62–64.

7. Mazhara N.N. Izmenenija nervnyh stvolov i krovenosnyh sosudov goleni pri ee udlinenii: avtoref. dis. ... kand.med. nauk. Dnepropetrovsk, 1974. 22 p.

8. Morfologicheskie izmenenija krupnyh nervnyh stvolov i nervno-myshechnogo apparata goleni pri ee dozirovannom udlinenii / L.A. Smirnova, L.I. Belenko, N.N. Mazhara. V.M. Jakovlev // Ortopedija, travmatologija i protezirovanie. 1972. no. 8. pp. 37–44.

9. Rojtbak A.I. Glijia i ee rol' v nervnoj dejatel'nosti. SPb.: Nauka, 1993. 352 p.

10. Safonova G.D., Kaljakina V.I. Vlijanie raznyh rezhimov distractionii na sostojanie nejrocitov chuvstvitel'nyh uzlov pri bol'shih udlinenijah goleni v jeksperimente po Ilizarovu // Distractionnyj osteosintez v klinike i jeksperimente: sb.nauch. tr. Kurgan, 1988. pp. 100–104.

11. Safonova G.D., Kovalenko A.P. Harakteristika morfofunkcional'nogo sostojanija nejrocitov spinnomozgovykh gangliev sobak v postdistractionnom periode // Morfologija. 2005. T. 127, Vyp.2. pp. 44–47.

12. Safonova G.D., Kovalenko A.P. Dinamika strukturnykh izmenenij nejrocitov spinnomozgovykh gangliev posle udlinenija konechnosti sobak apparatom Ilizarova s primeneniem intramedulljarnykh spic // Rossijskie morfologicheskie vedomosti. 2006. no. 1-2. Prilozhenie no. 1. pp. 258–260.

13. Safonova G.D., Chikorina N.K. Vlijanie dlitel'nyh distractionnyh vozdeystvij pri udlinenii konechnosti na sostojanie receptornogo apparata ikronozhnoj i bol'shebercovoj myshc // Sistemnye i kletochnye mehanizmy v fiziologii myshechnoj dejatel'nosti: sb. nauch. tr. RAN, fakul'tet fundamental'noj mediciny MGU im. M.V. Lomonosova, 1–4 fevralja 2011 g. M., Rossija, 2011 g. pp. 86.

14. Safonova G.D. Harakteristika troficheskih vzaimodejstvij v sisteme «nejron-glijia» pojasnichnyh spinnomozgovykh gangliev pri razlichnyh uslovijah udlinenija goleni v jeksperimente: materialy nauch.-prakt. konf. s mezhd. uchastiem «Ilizarovskie chtenija», posvjashh. 90-letiju so dnja rozhdenija akademika G.A. Ilizarova, 40-letiju RNC «VTO», 8–10 ijunja 2011 g. Kurgan, 2011. pp. 498.

15. Smirnova L.A. Travma kostnyh nervov i reпаративная регенерация. Киев: Zdorov'ja, 1970. 215 p.

16. Shein A.P., Sajfutdinov M.S., Krivoruchko G.A. Lokal'nye i sistemnye reakcii sensomotornyh struktur na udlinenie i ishemiju konechnostej. Kurgan: ДАММИ, 2006. 284 p.

Рецензенты:

Герасимов А.А., д.м.н., профессор, зав. кафедрой медицины катастроф, ГБОУ ВПО «Уральская государственная медицинская академия» Минздрава РФ, г. Екатеринбург;
Борзунов И.В., д.м.н., зам. декана лечебно-профилактического факультета, ГБОУ ВПО «Уральская государственная медицинская академия» Минздрава РФ, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 09.09.2014.