

© Группа авторов, 2002

Изменения параметров вызванной биоэлектрической активности соматосенсорной коры головного мозга у ортопедических больных с односторонними укорочениями верхних конечностей в условиях дистракционного остеосинтеза

(Третье сообщение: "Период дистракции")

А.П. Шеин, М.С. Сайфутдинов, Т.В. Сизова

Changes of parameters of evoked bioelectric activity of cerebral somatosensory cortex in orthopaedic patients with unilateral shortenings of the upper limbs under distraction osteosynthesis (III: Period of distraction)

A.P. Shein, M.S. Saifutdinov, T.V. Sizova

Государственное учреждение науки

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган (генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

До операции и в различные сроки на протяжении периода дистракции и после ее завершения методом ССВП обследовано 49 пациентов 11-42 лет с односторонними укорочениями (на 3-15 см) верхних конечностей. Результаты аппроксимации множества значений интеграла области ранних компонент ССВП в период дистракции соответствуют результатам ранее проведенных клинических наблюдений, а также электромиографических и морфологических исследований, описывающих структурно-функциональные перестройки в нервном стволе. Полученные нами на модели «больших» (свыше 50-60% исходной длины сегмента) удлинений верхней конечности у человека данные позволяют предположить в отношении нервного ствола наличие двух критических величин удлинения, условно разделяющих дистракцию на три периода: 1-й - ранний дистракционный период (от начала дистракции до достижения первой критической величины удлинения - анатомо-функционального резерва продольных размеров наиболее чувствительного к растяжению нервного ствола); 2-й - промежуточный дистракционный период, протекающий от момента прохождения первой критической величины до достижения второй критической величины - предела адаптационно-компенсаторного резерва; 3-й - критический период дистракции, т.е. растяжение тканей на фоне срыва адаптационно-компенсаторной реакции после превышения второй пороговой величины удлинения.

Ключевые слова: дистракционный остеосинтез, соматосенсорный вызванный потенциал, вызванная биоэлектрическая активность.

49 patients at the age of 11-42 years with unilateral (3-15 cm) shortenings of the upper limbs were studied before surgery, in different periods throughout distraction and after its completion using the method of somatosensory evoked potentials (SSEP). The results of approximation of an integral range set of the early component area of SSEP in the period of distraction match the results of previous clinical observations as well as those of electromyographic and morphologic studies, describing structural-and-functional reorganizations in the nerve trunk. As for the latter, the data obtained in the model of "great" (above 50-60% of initial segmental length) lengthenings of a human upper limb allow to presume presence of two critical values of lengthening in it, which divide distraction into three periods: 1-st - the early period of distraction (from distraction beginning to achievement of the first critical value of lengthening - anatomic-and-functional reserve of longitudinal sizes of the nerve trunk, which is the most stretch-sensitive); 2-nd - the intermediate period of distraction, which lasts from the moment of passing over the first critical value to achievement of the second critical value - limit of adaptation-and-compensatory reserve; 3-rd - the critical period of distraction, that means tissue stretching through adaptation-and-compensatory reaction break-down after the second threshold value exceeding.

Keywords: distraction osteosynthesis, somatosensory evoked potential, evoked bioelectric activity.

Первичная реакция соматосенсорного анализатора на хроническое дозированное растяжение тканей удлиняемой конечности складывается из комплекса морфо-функциональных изменений в его периферических структурах: рецепторах мышц, сухожилий, кожи и сенсорной фракции

волокон нервных стволов, магистральные участки которых располагаются в зоне удлинения. Последние реагирует наиболее интенсивно, поскольку имеющийся клинический опыт, а также данные электрофизиологических и морфологических исследований показывают, что нервный ствол явля-

ется наиболее чувствительным звеном тканевого комплекса удлиняемой конечности и реакция его структурных элементов на растяжение в конечном итоге лимитирует темп удлинения. Послеоперационные и постдистракционные изменения в нервных проводниках, возникающие на уровне остеотомии, распространяются вдоль осевых цилиндров в дистальном и проксимальном направлениях. Суммируясь с первичными изменениями в терминалях и телах рецепторов, они порождают вторичную реакцию периферических структур и ЦНС. В связи с этим, в описании реакции соматосенсорного анализатора на воздействие комплекса факторов дистракционного остеосинтеза целесообразно особо выделить процессы, протекающие на участке периферического смешанного нерва удлиняемого сегмента, являющегося ключевым звеном, непосредственно воспринимающим и передающим это воздействие в ЦНС. Для получения

полной картины состояния нервного ствола необходимо параллельное и комплексное описание всех его частей [1]. Благодаря выходу в свет целого ряда актуальных работ, посвященных изучению морфологических изменений в нервном стволе в условиях экспериментального удлинения конечности у животных, мы располагаем возможностью, при сохранении известной доли осторожности, сопоставить эти данные с полученными нами результатами электрофизиологического тестирования функции нервных проводников при удлинении конечности у человека.

В данной работе представлены результаты дальнейшего анализа интрадистракционной динамики интеграла фрагмента ВБА, соответствующего ранним компонентам [2] ССВП в диапазоне 20-100 мс с момента нанесения раздражения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Характеристика выборки пациентов и метод получения вызванной биоэлектрической актив-

ности (ВБА) подробно изложены в первом сообщении.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Используя средства аппроксимации EXCEL-97, мы подобрали линии тренда (полиномы вида: $Y=a_1t^n+a_2t^{n-1}+...+a_{n-1}t+a_n$; где $n = 4$), отображающие обобщенную динамику совокупности относительных (в % от исходного уровня) значений $S[p]$ в период дистракции (рис. 1) для рецептивных полей зоны удлинения (кривая 1) и для дистальных рецептивных полей (кривая 2).

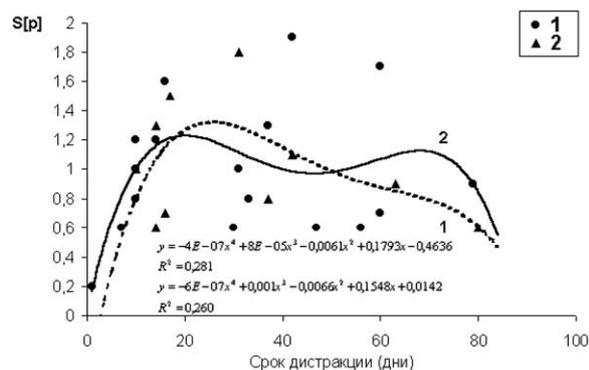


Рис. 1. Аппроксимация динамики интеграла ранних компонент ССВП (Тип 4-5), представленной в виде множества его индивидуальных значений, выраженных в процентах от среднего дооперационного уровня, в период дистракции при раздражении рецептивных полей удлиняемого (1) и дистального (2) сегментов конечности.

Форма аппроксимационных кривых отражает ряд сложных фазных изменений множества индивидуальных значений данного параметра, которые в начале и на промежуточных этапах дистракции являются однонаправленными для обеих групп рецептивных полей. В начале удлинения значения интеграла $S[p]$ снижены в обеих выборках по сравнению с предоперационным уровнем. По мере возрастания временного интервала между оперативным вмешательством и текущим обследованием происходит некоторое увеличение, а потом - постепенное снижение величин интеграла. Причем данные изменения для дистальных рецептивных полей несколько запаздывают по отношению к реакции рассматриваемого параметра при тестировании рецептивных полей, находящихся в зоне удлинения. Затем в поведении интеграла $S[p]$ в двух выборках начинают проявляться различия. При использовании для ССВП-тестирования рецептивных полей зоны удлинения наблюдается вторичная волна повышения его значений, сменяющаяся резким спадом. В то же время, при использовании с той же целью дистальных рецептивных полей, с середины периода дистракции, продолжается более плавное снижение интеграла, вплоть до окончания удлинения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Снижение в обеих выборках, по сравнению с предоперационным уровнем в первые дни дистракции, значений $S[p]$ (рис. 1) отражают, по нашему мнению, некоторое угнетение проводни-

ковой функции толстых афферентных волокон смешанного нерва, вызванное временным нарушением интраневрального гомеостаза на уровне остеотомии в послеоперационном периоде, о чём

свидетельствует наличие застойных явлений в кровяном русле сосудов периневрия [3] и морфологических признаков функционального напряжения механизмов активного транспорта периневрального барьера [4, 5]. По мнению авторов приведенных результатов исследований, наблюдаемые феномены обратимы, имеют локальный характер, развиваясь прежде всего в наружных слоях периневрального эпителия, но вполне достаточны для изменения функции периневрального барьера, в результате которых нарушается гомеостаз среды, окружающей нервные волокна в проводниковой части, и развиваются реактивные изменения [4, 5] в миелиновых нервных волокнах (преимущественно толстых), большинство из которых в берцовых нервах экспериментальных животных приобретают в поперечном сечении неправильную форму [6]. К моменту начала дистракции количество нервных волокон, характеризующихся наличием признаков раздражения и деструкции, нарастает, в некоторых из них наблюдаются вакуоляризация осевых цилиндров и очаги дезинтеграции миелина [4].

Следствием дестабилизации состава интраневральной среды [7, 8], фокальной демиелинизации и изменения формы осевых цилиндров, нарушающих оптимум условий проведения возбуждения [7], является падение возбудимости мембран нервных проводников и снижение надежности механизма т.н. сальтаторной передачи возбуждения. Проявлением возникших в послеоперационном периоде реактивных изменений в нервных волокнах является некоторое снижение среднего по выборке значения максимальной скорости распространения возбуждения (**МСПВ**) для *n.medianus* по моторным проводникам у больных с односторонними укорочениями плеча в начале дистракции [9]. Поскольку афференты проприорецепторов, как и аксоны α -мотонейронов, принадлежат к группе наиболее толстых миелинизированных волокон $A\alpha$, мы вправе предположить в них аналогичное снижение проводниковой функции (возможно еще более выраженное), что, в свою очередь, вызывает падение интенсивности афферентации в лемнисковой системе и отражается на величине интеграла **S[p]** в первые дни дистракции.

По мере возрастания временного интервала между оперативным вмешательством и текущим обследованием происходит некоторое увеличение относительных величин **S[p]** для обеих групп рецептивных полей, так что в некоторых случаях они превышают средний дооперационный уровень. Мы связываем это с тем, что на первых этапах дистракции удлинение нервного ствола осуществляется, во многом, за счет мобилизации его исходного анатомо-функционального резерва (извитости нервных волокон различного порядка, эластических свойств различных структурных компонентов

нервного ствола и слайдинг-эффекта, обеспечивающего продольное смещение нервных стволов в их ложах) [10-12]. Эмпирически найденное (рассчитанное на основании результатов клиничко-электрофизиологических обследований больных) значение этого резерва длины нерва составляет 20-30% от исходных продольных размеров сегмента конечности, подлежащего удлинению.

Слайдинг – эффект на первых этапах дистракции создает резерв времени для прохождения волны реактивно-репаративных изменений, индуцированных под воздействием оперативной травмы уже в послеоперационном периоде [4] и являющихся частью механизмов срочной адаптации, обеспечивающих нормализацию и поддержание трофической и барьерной функций, поддерживающих интраневральный гомеостаз.

Благодаря образованию специализированных адгезивных соединений, подобных десмосомам и полудесмосомам [13, 14], укрепляющих прочность мембранных контактов [1], в системе леммоцит-аксон уменьшается воздействие напряжения на нервные волокна и, в особенности на перехваты Ранвье, принимающие на себя основное воздействие натяжения [15].

Стабилизация механизмов поддержания гомеостаза интраневральной среды на первых этапах дистракции способствует нормальному функционированию в этот период большей части нервных проводников. Происходящее при этом безальтерационное их испрямление в тканях удлиняемой конечности выражается в эти сроки в феномене повышения величины **МСПВ** по моторным волокнам по сравнению с исходным и контралатеральным уровнями. Данная ситуация позволяет эффективно проявиться центральному компенсаторным механизмам в виде первоначального повышения значений интеграла **S[p]** (рис. 1).

Эта ситуация сохраняется, пока не будет достигнута величина удлинения, соответствующая резерву продольных размеров нервного ствола, после чего начинается переход к иному механизму компенсации. Отмечается повторное нарушение интраневрального гомеостаза и нарастание вызванных этим нарушением (и непосредственным воздействием растягивающих усилий на мембраны) реактивных изменений – прежде всего в толстых афферентных волокнах [1, 3, 16, 17, 18], связанное с увеличением трофического напряжения в системе леммоцит-аксон. Трансформация миелиновой оболочки, сопровождаемая явлениями фокальной демиелинизации, формы осевых цилиндров, их диаметров, в том числе появление наплывов нейроплазмы и узлов «спраутинга» [16, 17, 18], затрагивают механизмы генерации и распространения потенциала действия (**ПД**) вдоль нервных волокон большого диаметра [7], что отражается

на их способности пропускать нервные импульсы в ЦНС и приводит ко вторичному снижению значений интеграла $S[p]$ ВБА (рис.1).

Наблюдаемое в процессе distraction пространства реактивных изменений в нервных волокнах в направлении дистальнее зоны растяжения [16, 17, 18], по-видимому, связано с нарушением функций аксоплазматического транспорта. Электрофизиологическим проявлением этого феномена является наблюдаемое на дистальных сегментах конечности постепенное снижение МСРВ эфферентной фракции нервов и амплитуды М-ответа соответствующих мышц [3, 9], начинающееся после исчерпания запаса длины нервных стволов.

Исходя из этих соображений, некоторое запаздывание реакции интеграла $S[p]$ для дистальных рецептивных полей, отраженное в моментах появления максимумов и характере последующих трендов кривых 1 и 2 на рисунке 1, мы связываем с медленным распространением реактивных изменений вдоль нервного волокна в дистальном направлении.

Активность репаративных процессов, а также их взаимоотношение с локальными пролонгированными реактивно-деструктивными изменениями в нервном волокне в определенной степени определяется скоростью аксотранспорта. С этой точки зрения динамическое равновесие между реактивно-деструктивными процессами и внутриклеточной регенерацией в микроструктурах нейрита возможно только при условии соответствия темпов distraction с обусловленной аксотранспортом скоростью регенерации нейритов [9]. Используемый режим удлинения способствует тому, что интенсивность регенераторных процессов в оболочках нерва в этот период достаточна, чтобы сохранить уровень стабильности интраневральной среды, необходимый и достаточный для установления и стабилизации динамического равновесия разнонаправленных (деструктивных и репаративных) процессов в оболочках и проводниковой части подвергнутого растяжению нерва. При наличии подобного равновесия, близкого по характеру к т.н. «физиологической регенерации», проводниковая функция толстых афферентов длительное время может ощутимо не изменяться. На этом фоне, за счет вовлечения части кожных рецепторов в деструктивно-репаративные процессы [19], для рецептивных полей зоны удлинения их общая активность должна быть существенно ниже, чем для дистальных. Известно, что в условиях, усложняющих дифференцировку раздражителя, сенсорный стимул постоянной интенсивности вызывает более выраженную активацию первичной проекционной коры мозга, чем при неосложненном восприятии [20, 21]. Поэтому включение центральных компенсаторных механизмов соответствующих областей первичной соматосенсор-

ной коры должно быть более выраженным для представительства рецептивных полей зоны удлинения, чем для дистальных, что проявляется в виде повышения интенсивности соответствующей биоэлектрической активности. Такое мнение находит подтверждение при тестировании рецептивных полей зоны удлинения в форме вторичного подъема аппроксимационной кривой интеграла ранних компонент ССВП, отсутствующего при раздражении дистальных точек стимуляции.

При большой интенсивности и продолжительности воздействия стресс-фактора (distraction), влекущего за собой длительное напряжение адаптационно-компенсаторных механизмов организма, наблюдается снижение эффективности регенераторных и ростовых процессов («срыв адаптационной реакции»). Функциональная нагрузка на систему аксотранспорта увеличивается параллельно с величиной удлинения, о чём свидетельствует появление участков осевых цилиндров уменьшенного диаметра, чередующихся с наплывами нейроплазмы [16, 17], а также изменений в нейрофибрилярном аппарате последних [1], выявляемых в сроки после исчерпания структурно-функционального резерва длины нерва. Повышение внутритканевого давления приближается к уровню перекрытия артериального русла и уже не компенсируется системной гипертензией [22]. Для нервного ствола это выражается в снижении интенсивности интраневрального кровотока [23] и ведет к развитию ишемии. Наблюдаемые при этом реактивные изменения в большей степени трансформируются в деструктивные. Последние начинают преобладать над репаративными. Ишемический механизм этих процессов показан в модельных экспериментах (в условиях острого опыта) на животных. Растяжение нерва на 5-18% в условиях сохранности его кровоснабжения постепенно приводит к блокаде интраневрального кровотока [24] и снижению амплитуды суммарного ПД нерва, вплоть до его полного исчезновения вследствие падения возбудимости аксолема [25]. Выявлен критический уровень снижения ПД нерва (20%), после которого не происходит полного восстановления [26] ЭМГ-параметров. Этот феномен, по-нашему мнению, вносит существенный вклад в угнетение произвольной и вызванной ЭМГ мышц не только удлиняемого, но и дистального сегментов конечности, наблюдаемое к концу периода distraction при больших величинах удлинения. Клинический опыт [3, 27, 28] показывает, что состояние динамического равновесия между деструктивно-репаративными процессами в ходе удлинения сохраняется ограниченный срок. Удлинение конечности свыше 50-70% является экстремальным для ее тканей [3, 28]. При этом отмечается резкое снижение мышечной силы, сопровождаемое развитием ограничений подвижно-

сти в суставах [3]. На этом этапе удлинения конечности возможно появление хронических болей [3], свидетельствующих о вовлечении в реакцию на растяжение безмякотной фракции смешанных нервов и, как следствие, нарастании ноцицептивного фона, преобладающего по интенсивности над активностью систем компенсации болевого синдрома. Исходя из этих соображений, правомерно предположить существование в т.н. «альтерационной» фазе удлинения конечности [11, 29-31] второго критического порога, характеризуемого срывом компенсаторно-адаптивной реакции и включением качественно иных механизмов репаративной активности в окружающую кость тканях, сопровождаемых, в частности, необратимыми изменениями в нервных стволах. Для частичной компенсации подобных явлений, вызываемых прохождением заключительного этапа «альтерационной» фазы удлинения, используется постепенное замедление темпов к концу distraction [3] как способа снижения интенсивности «стресс-фактора». Электрофизиологическим отражением этих процессов в сенсорной фракции проводниковой части периферического смешанного нерва становится снижение значений интеграла ССВП. Аппроксимационная кривая для рецептивных полей зоны удлинения устремляется резко вниз. Для дистальных рецептивных полей, в связи с отсутствием волны вторичного подъема, его

снижение выглядит несколько более пологим, вплоть до окончания удлинения.

Таким образом, результаты аппроксимации множества значений интеграла области ранних компонент ССВП в период distraction соответствуют данным ранее проведенных клинических наблюдений, а также электромиографических и морфологических исследований, описывающих структурно-функциональные перестройки в нервном стволе. Полученные нами на модели «больших» (свыше 50-60% исходной длины сегмента) удлинений верхней конечности у человека данные позволяют предположить в отношении нервного ствола наличие двух критических величин удлинения, условно разделяющих distraction на три периода: 1-й - ранний distractionный период (от начала distraction до достижения первой критической величины удлинения - анатомо-функционального резерва продольных размеров наиболее чувствительного к растяжению нервного ствола); 2-й - промежуточный distractionный период, протекающий от момента прохождения первой критической величины до достижения второй критической величины - предела адаптационно-компенсаторного резерва; 3-й - критический период distraction, т.е. растяжение тканей на фоне срыва адаптационно-компенсаторной реакции после превышения второй пороговой величины удлинения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карымов Н.Р. Изменения нервов удлиняемого сегмента конечности при разной дробности distraction: Автореф. дис... канд. мед. наук. - Пермь, 1995. - 24 с.
2. Иваницкий А.М. и др. Информационные процессы мозга и психическая деятельность / А.М. Иваницкий, В.Б. Стрелец, И.А. Корсаков. - М., 1984. - 200 с.
3. Клинико-физиологические и морфологические характеристики адаптивной перестройки в мягкотканых структурах удлиняемой конечности / В.И. Калякина, А.П. Шеин, Н.С. Шеховцева и др. // Значение открытых Г.А. Илизаровым общебиологических закономерностей в регенерации тканей: Сб. науч. тр. - Курган, 1988. - Вып.13. - С. 63-71.
4. Илизаров Г.А., Щудло М.М. Изменения нервов голени при ее удлинении в эксперименте // Лечение ортопедо-травматологических больных в стационаре и поликлинике методом чрескостного остеосинтеза, разработанным в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. Конф. Ч.2. - Курган, 1982. - С.198-201.
5. Илизаров Г.А., Щудло М.М. Ультраструктура межклеточных контактов периневрального эпителия нервов голени при ее удлинении в эксперименте // Чрескостный компрессионно-distractionный остеосинтез по Илизарову в травматологии и ортопедии: Сб. науч. тр. - Вып.10. - Курган, 1985. - С.10-17.
6. Илизаров Г.А., Карымов Н.Р. Ультраструктурные механизмы новообразования нервных волокон в условиях дозированной distraction // Медико-биологические и медико-инженерные проблемы чрескостного остеосинтеза по Илизарову: Сб. научн. тр. - Вып.14. - Курган, 1989. - С.5-12.
7. Ходоров Б.И. Общая физиология возбудимых мембран: Руководство по физиологии. - М.: Наука, 1975. - 406 с.
8. Окс С. Основы нейрофизиологии. - М.: Мир, 1969. - 448 с.
9. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Калякина В.И. Электрофизиологическое исследование функциональных характеристик срединного и локтевого нервов в условиях оперативного удлинения плеча. // Чрескостный компрессионный и distractionный остеосинтез в ортопедии и травматологии: Сб. науч. тр. - Вып. 6. - Курган, 1980. - С.70-76.
10. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Сайфутдинов М.С. О роли движений в суставах конечностей в формировании резерва длины нервных стволов // Возрастные адаптивные и прогнозируемые функциональные состояния центральных и периферических структур двигательного аппарата в условиях чрескостного distractionного остеосинтеза по Илизарову / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, А.Н. Ерохин и др. // Травматол. ортопед. России. - 1994. - № 2. - С. 100-106.
11. Илизаров Г.А., Карымов Н.Р. Сравнительные исследования ультраструктуры нервных волокон в онтогенезе и в условиях дозированной distraction // Гений ортопедии. - 1995. - № 1. - С. 26-29.
12. Карымов Н.Р. Механизмы роста миелиновых нервных волокон в нервах удлиняемой по Илизарову конечности // Гений ортопедии. - 1996. - № 2-3. - С. 134.
13. Значение ритма distraction для реализации "Эффекта Илизарова" в нервах удлиняемого сегмента конечности / Г.А. Илизаров,

- М.М. Щудло, Н.Р. Карымов, М.С. Сайфутдинов // Гений ортопедии. - 1995. - № 1. - С. 12-18.
16. Рекапитуляция признаков онтогенетического роста в оболочках нервных стволов при экспериментальном удлинении конечности у взрослых собак / Г.А. Илизаров, М.М. Щудло, А.Б. Кузнецова, А.А. Шрейнер // Проблемы чрескостного остеосинтеза в ортопедии и травматологии: Сб. науч. тр. - Вып.8. - Курган, 1982. - С. 72-76.
 17. Кузнецова А.Б. Реакция нервного аппарата оболочек седалищных нервов при удлинении бедра по Илизарову в эксперименте // Лечение ортопедо-травматологических больных в стационаре и поликлинике методом чрескостного остеосинтеза, разраб. в КНИИЭКОТ: Тез. докл. всесоюзн. науч.-практ. конф. - Курган, 1982. - С.195-197.
 18. Кузнецова А.Б., Берко В.Г. Изменения нервных стволов в периоде distraction при удлинении бедра у собак. // Чрескостный компрессионный и distractionный остеосинтез в травматологии и ортопедии. - Л. - 1977. - С.15-18.
 19. Изменения нервных проводников и их концевых аппаратов в мышцах и коже при больших одноэтапных удлинениях конечностей по Г.А. Илизарову / Л.Н. Кочутина, И.П. Кудрявцева, Е.И. Чумасов, К.М. Светикова // Арх. анатомии. - 1990. - Т. 98, № 4. - С. 24-31.
 20. Кратин Ю.Г. Ритмика мозга как функциональный показатель // Материалы Всесоюзной конференции по электрофизиологии центральной нервной системы. - Л.: Наука, 1971. - С. 156-157.
 21. Курбанов Ш. Изменения ЭЭГ и двигательных условных рефлексов при сокращении длительности сигналов // Материалы Всесоюзной конференции по электрофизиологии центральной нервной системы. - Л.: Наука, 1971. - С. 166.
 22. Анализ факторов, определяющих объемную скорость кровотока голени при лечении заболеваний конечностей по Илизарову / В.А. Щуров, Т.И. Долганова, Е.Н. Щурова, Л.Ю. Горбачева // Ортопед. травматол. России. - 1994. - № 2. - С. 91-95.
 23. Tibial nerve function during tibial lengthening / Y. Mizumoto, H. Mizuta, E. Nakamura, K. Takagi // Acta Orthop. Scand. - 1995. - Vol. 66, N 3. - P. 275-277.
 24. Lundborg G., Ridevik B. Effects of stretching the tibial nerve of rabbit // J. Bone Jt. Surg. - 1973. - Vol. 55-B, N 2. - P. 390-401.
 25. Кимбаровская Е.М. Функциональные и структурные изменения нерва в норме при его растяжении // Электрофизиология нервной системы. - Ростов на Дону, 1963. - С. 187-188.
 26. Влияние вытяжения нерва на функциональное состояние нервных волокон / А.А. Богов, И.А. Калинина, В.В. Костюшко, И.Н. Плещинский // Клиника и эксперимент в травматологии и ортопедии: Тез. докл. юбил. науч. конф., посвящ. 75-летию НИЦТ "ВТО". - Казань, 1994. - С. 147-148.
 27. Калякина В.И. Послеоперационное ведение и расчет ориентировочных сроков лечения больных при удлинении плеча методом Илизарова // Медико-биологические и медико-инженерные проблемы чрескостного остеосинтеза по Илизарову: Сб. науч. работ. - Вып. 14. - Курган, 1989. - С. 136-144.
 28. Кудрявцева И.П., Кочутина Л.Н. Морфометрические изменения нервно-мышечного аппарата при удлинении конечности // Клиника и эксперимент в травматологии и ортопедии: Тезисы докладов юбилейной научной конференции, посвященной 75-летию НИЦТ "ВТО". - Казань, 1994. - С. 203-204.
 29. Электрофизиологические признаки реконструктивных изменений в нервно-мышечных структурах удлиняемой конечности / А.П. Шейн, Г.А. Криворучко, М.С. Сайфутдинов и др. // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. - Екатеринбург, 1997. - С. 209-215.
 30. Шейн А.П. Механизмы дезинтеграции в системе «сенсомоторный аппарат – схема тела» периферического генеза на модели удлинения конечностей // Гений ортопедии. - 1998. - № 4. - С. 65-71.
 31. Shein A.P., Krivoruchko G.A., Saifutdinov M.S. Neurophysiological aspects of reconstructive neuro myogenesis in extremities lengthening // 1st Congress of MAOT. - Skopje, Republic of Macedonia, 1997. - P. 164.

Рукопись поступила 28.11.01.