

© А.П. Шейн, 1998

## **Механизмы дезинтеграции в системе "сенсомоторный аппарат - схема тела" периферического генеза на модели удлинения конечностей**

**А.П. Шейн**

## ***Disintegration mechanisms in "sensomotor apparatus – body scheme" system of peripheral genesis and the model of limb elongation***

**A.P. Shein**

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

На основании обобщенных результатов многоплановых нейрофизиологических исследований реактивности и адаптации нервов и мышц при удлинении конечностей по Илизарову, а также анализа характеристик локальных изометрических моторных тестов с ограничениями на скорость и точность их выполнения, сформулированы и обоснованы концептуальные представления о развитии и фиксации парциальных нарушений в системе взаимодействия периферических сенсомоторных структур со "схемой тела" (СТ). Основные положения концепции касаются не только механизмов формирования постдистракционных двигательных расстройств, связанных с глубокими перестройками в периферической части двигательных единиц (т.е. возникновением и развитием несоответствия генетически предопределенных и сформированных в онтогенезе центральных моторных программ исполнительным возможностям эффекторов), но и формирования дефицита адекватного сенсорного обеспечения движений с участием удлиненной конечности.

Ключевые слова: схема тела, удлинение, конечность, нервы, мышцы.

Conceptual ideas have been formulated and substantiated concerning development and fixation of partial disorders in the system of interaction of peripheral sensomotor structures and "body scheme" (BS) on the basis of generalized results of versatile neurophysiological studies of reactivity and adaptation of nerves and muscles during limb elongation according to Ilizarov and on the basis of analysis of characteristics of local isometric motor tests with limitations for speed and accuracy of their performance. The main statements of the conception refer not only to the mechanisms of formation of postdistract motor disorders, connected with profound reorganizations in the peripheral part of motor units (that means the beginning and development of disparity between genetically predetermined and formed in ontogenesis motor programs and executive potentials of effectors), but to those of formation of deficiency of adequate sensor maintenance of movements with participation of elongated limb.

Keywords: body scheme, limb, elongation, nerves, muscles.

Под «схемой тела» (СТ) понимают его информационный образ или трехмерную статодинамическую модель, т.е. систему обобщенных представлений человека о собственном теле в покое и при движении, о пространственных координатах и взаимоотношениях отдельных его частей [24].

Проблемы церебральной организации СТ изучались главным образом путем анализа ее нарушений при различного рода поражениях головного мозга. Установлено, что реализация функций СТ связана прежде всего с деятельностью т.н. таламо-париетальной системы [11]. Целесообразно отметить, что информационный образ, составляющий основу СТ, отличается

относительной стабильностью и его формирование в онтогенезе носит характер детализации врожденных предпосылок.

Организация сенсомоторного взаимодействия в управлении движениями с использованием СТ предполагает, что СТ, опираясь на данные о двигательной задаче, и, возможно, используя эфферентную копию двигательной команды, прогнозирует афферентный образ движения, который сравнивается с реальной афферентацией от проприорецепторов [2]. Сигнал рассогласования может использоваться для коррекции параметров модели и внесения поправок в ее предсказания. Кроме того этот сигнал служит основой для осознания отклонения, возникающего в ходе выполнения двигательного акта. С

помощью телерецепции (зрение, слух) осуществляется привязка СТ к экстраперсональному пространству. Предполагается также, что эта внутренняя модель предсказывает текущее состояние управляемого объекта, которое может использоваться управляющим центром для выработки моторной команды. В этом смысле СТ рассматривается в качестве банка энграмм врожденных моторных координаций. Сигнал рассогласования возникает при наличии грубых нарушений интрацеребральных и периферических связей СТ с моторными и сенсорными структурами, возникающих, к примеру, при травматических и ишемических поражениях головного и спинного мозга, периферических нервов, а также в случаях реального изменения частей тела или их пропорций. В результате происходит включение механизма прямой активации управляющего центра и регуляции движения в обход СТ с использованием церебрального аппарата «детектора ошибок», что существенно снижает качество управления.

Сформулированные нами концептуальные представления о развитии и фиксации парциальных нарушений в системе взаимодействия периферических сенсомоторных структур со СТ [18, 21, 25] касаются не только механизмов формирования постдистракционных двигательных расстройств, связанных с глубокими перестройками в периферической части двигательных единиц (т.е. возникновением и развитием несоответствия генетически predeterminedных и сформированных в онтогенезе центральных моторных программ исполнительным возможностям эффекторов), но и дефицита и искажения (неадекватности) сенсорного обеспечения движений с участием удлинённой конечности.

С помощью разработанных нами локальных изометрических моторных тестов [16, 17] (использована модификация дискретного зрительно-моторного слежения - воспроизведение с максимальной скоростью и точностью под визуальным контролем заданного усилия передней группой мышц голени) показано, что формирование навыка дискретного зрительно-моторного слежения у пациентов на стороне удлинёния существенно замедлено (преобладает т.н. "коррекционный" тип регуляции), двигательные пробы выполняются с большей ошибкой и большими энерготратами (по критерию соотношений интегралов ЭМГ мышц-антагонистов к импульсу момента силы) по сравнению с интактной конечностью [8, 13, 19].

Данные кинезиометрических проб, характеризующих точность воспроизведения заданного усилия без визуального контроля, моносинаптического тестирования и результаты исследования динамики показателей соматосенсорных вызванных потенциалов (СВП) [3, 6, 7, 13] сви-

детельствуют о развитии на стороне удлинёния устойчивого сенсорного дефицита и искажения (за счет частичной деафферентации конечностей и нарушения исходных биомеханических условий функционирования механорецепторов) специфической афферентации.

Приведенные данные, характеризующие нарушение связей СТ с периферическими сенсомоторными структурами и обозначенные нами по степени генерализованности как "парциальные", иллюстрирует схема, представленная на рисунке 1. На схеме пунктиром обозначены связи, распад или ослабление которых приводит к рассогласованию по обоим выходам СТ («предсказание состояния объекта управления» и «предсказание сенсорного комплекса») и необходимости перехода на коррекционный режим регуляции движений.



Рис. 1. Схема, поясняющая механизм дезинтеграции в организации произвольного управления напряжением скелетных мышц (зрительно-моторное слежение) в условиях сенсомоторной недостаточности периферического генеза

Касаясь конкретных механизмов влияния растяжения на периферические нейромоторные и нейросенсорные структуры, целесообразно проведение аналогий между увеличением продольных размеров нервов и мышц в условиях дистракционного остеосинтеза и в онтогенезе.

Как известно, развитие скелетных мышц и иннервационного аппарата конечностей в онтогенезе обусловлено взаимодействием, в основном, четырех факторов: генетически predeterminedным пространственным и временным порядком эмбриогенеза; взаимовлиянием мышц, опорного аппарата и других структур; трофическим влиянием со стороны гуморальной и нервной систем; упражнением или неупражнением мышц в их специфической функции [10]. В частности, показано, что в рамках действия второго и четвертого факторов большое значение имеет механическое натяжение, вначале обусловленное увеличением расстояния между точками прикрепления концов мышц в связи с продольным ростом костей, а впоследствии, дополнительно (после возникновения иннерва-

ции), активной деятельностью самих мышц. При этом пограничные величины «физиологической длины» мышц, обслуживающих тот или иной сустав, и нервов задаются на каждом конкретном этапе онтогенеза реализуемым объемом движений в этом суставе (или суставах).

Удлинение конечностей по Илизарову представляет ряд уникальных моделей для изучения особенностей увеличения продольных размеров мышц и нервов преимущественно под влиянием локального регулятора – медленного дозированного растяжения тканей. На основе сопоставления результатов разноплановых клинико-экспериментальных нейрофизиологических и морфологических исследований, проводимых в РНЦ «ВТО» с 1971 года, сформулирована концепция реконструктивного, индуцированного медленным дозированным растяжением окружающей кость тканей, нейромиогенеза, включающая в себя два положения: 1) пограничные состояния; 2) двустадийность нейромиогенеза.

Первое положение, определяемое как следствие неоднородности реологических и морфофункциональных свойств подвергаемых медленному растяжению мягкотканых композиций, отражает особенности вовлечения в структурно-функциональную реорганизацию различных типов мышц и нервных волокон, а также иннервируемых последними эфферентных и афферентных образований.

На рисунке 2 показано, что в условиях пролонгированного альтерирующего и одновременно формообразующего воздействия экзогенного механического фактора реактивные изменения затрагивают прежде всего фракцию толстых миелинизированных волокон - аксоны быстрых двигательных единиц, афференты сухожильных и мышечных рецепторов, а также механорецепторов кожи и суставов. Термин «пограничное состояние» предполагает наличие некоторых пределов растяжения магистральных участков нервных стволов (с учетом т. н. «слайдинг-эффекта») – 20-30% от исходной длины удлиняемого сегмента конечности и их концевых ветвей, превышение которых влечет за собой появление реактивно-репаративных ответов, формирующих в генерализованном варианте, электрофизиологическую картину синдромо-комплекса по типу «полимиозит-полиневропатия». Понятие «пограничное состояние» в отношении отдельного мягкотканого нервного волокна предполагает возникновение таких изменений в структурном обеспечении механизма сальтоторного распространения возбуждения, следствием которых является возникновение стойкого блока проводимости по данному волокну. К таким изменениям могут быть отнесены сегментарная демиелинизация, аксонопатия, связанная, в частности, с наруше-

нием в системе интраневрального кровотока, аксоплазматического транспорта и целостности аксолеммы, а также устойчивый сдвиг электролитного баланса аксоплазмы и интраневральной среды.

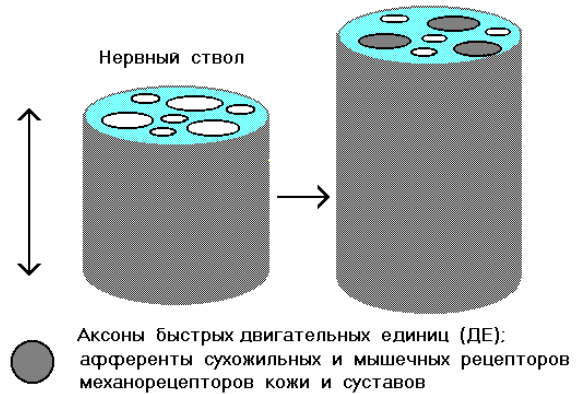


Рис. 2. Схема, отражающая последовательность вовлечения нервных волокон различного калибра в реакцию на растяжение при удлинении конечностей по Илизарову

Электрофизиологически настоящее положение находит подтверждение в закономерном изменении параметров произвольной, спонтанной и вызванной биоэлектрической активности мышц (при использовании различных форм ее отведения и анализа) удлиняемого и дистального по отношению к нему сегментов конечности (см. рис. 3).

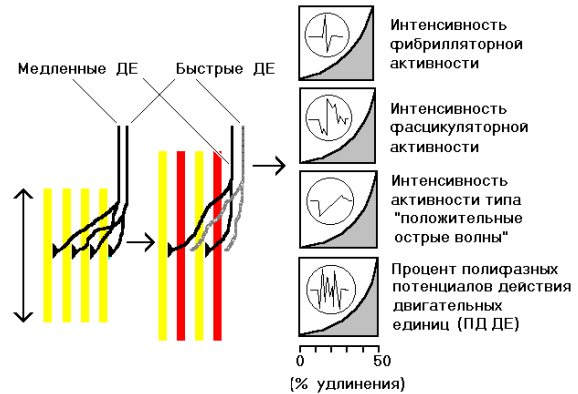
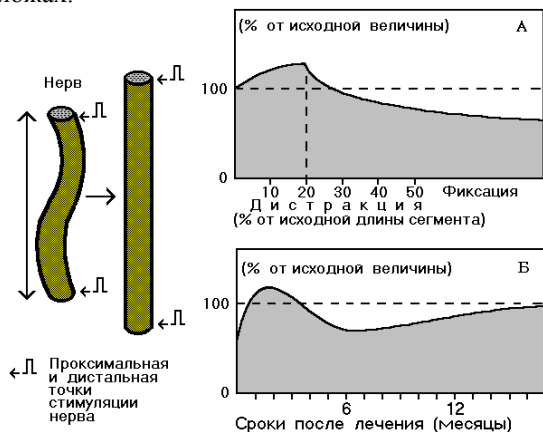


Рис. 3. ЭМГ-корреляты вовлечения периферических структур двигательных единиц в реакцию на растяжение в условиях distractionного остеосинтеза по Илизарову

В частности, при удлинении голени первыми в деструктивно-репаративную реакцию вовлекаются иннервационные структуры мышц тыльных и подошвенных сгибателей стопы, что выражается в появлении характерных признаков хронического раздражения нервных волокон и денервационных изменений в мышечной ткани. Фибрилляторная и фасцикуляторная активность в растягиваемых мышцах регистрируется уже на десятом проценте удлинения, нарастая как пространственно, в объеме мышечной массы, так и по интенсивности, с увеличением длины сегмен-

та. На последующих этапах удлинения (сверх порога, составляющего 20-30% исходной длины сегмента) при попытках произвольного напряжения отмечено преобладание низкоамплитудных полифазных потенциалов действия двигательных единиц (ПД ДЕ), спонтанной активности типа «положительные острые волны» и появление в покое псевдомиотонических разрядов, механизм формирования которых объясняется нарушением закона избирательного распространения возбуждения в пучках нервных волокон и возникновением в участках демиелинизации очагов пейсмекерной активности.

Продольное смещение нервных стволов в тканевых ложах, обозначенное нами как «слайдинг-эффект», и их натяжение до пограничных величин на начальном этапе удлинения конечности (до 20-30% исходной величины сегмента) сопровождается достаточно специфичным эффектом – псевдоэксальтацией (парадоксальным увеличением) скоростей проведения возбуждения (рис. 4). Есть основание полагать, что устойчивость нервных волокон к динамическим и статическим тракционным нагрузкам при выполнении субъектом разнообразных движений и на начальных этапах дистракционного остеосинтеза обеспечена исходным запасом длины и эластичности нервных стволов за счет складчатой структуры мембран, интрастволовой извитости волокон, анатомического запаса длины нервов, наиболее выраженного в области суставов конечностей, а также способности нервных стволов к продольному смещению в тканевых ложах.



При растяжении сегмента конечностей сверх обозначенного порога наблюдается спад скоростей проведения возбуждения, характеризующий прогрессирование полиневропатических сдвигов, протекающих по аксонально-демиелинизирующему типу (рис. 5). Реакция

дистальных нервно-мышечных структур удлиняемых конечностей также проявляется при достижении пороговых величин удлинения и выражается в снижении М-ответов и Н-рефлексов, возрастании их латентности, длительности и полифазности [1, 5, 7, 15, 20]. Изменения подобного типа наиболее ярко выражены в условиях полилокального и полисегментарного удлинения нижних конечностей у больных с врожденными асимметриями в длине ног и характеризуются резким снижением (зачастую до полного выпадения) М-ответов мышц тыльной и подошвенной поверхности стопы. Этому факту придается особое значение, поскольку в функциональной организации СТ дистальные отделы конечностей и суставы характеризуются особыми приоритетами.

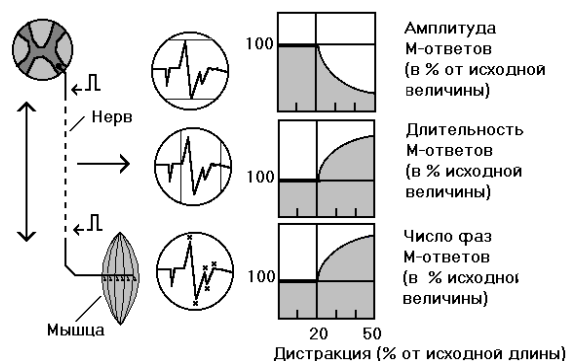


Рис. 5. Общие закономерности в изменении параметров М-ответов дистальных групп мышц удлиняемой конечности

Целесообразно подчеркнуть, что повышенная чувствительность к растяжению лучевого и малоберцового нервов связана не только с особенностями их залегания и фиксации к окружающим тканям, но и с относительным преобладанием в них фракции аксонов двигательных единиц фазического типа.

Особенности строения отдельных мышц и диапазон изменения расстояний между точками их прикрепления к костям конечностей в конечном итоге определяет последовательность их вовлечения в реакцию на растяжение. Наиболее чувствительны к растяжению односуставные мышцы с продольно-волокнистым типом строения. Есть основание полагать, что манифестирующая отрицательная динамика электрофизиологических показателей m. tibialis ant. в процессе удлинения голени связана также с развитием т.н. "синдрома мышечного ложа", дополняющего альтерационный эффект растяжения тканей ишемическим компонентом.

Процесс реконструктивного нейромиогенеза в условиях дистракционного остеосинтеза носит достаточно четко выраженный двустадийный характер (рис. 6).

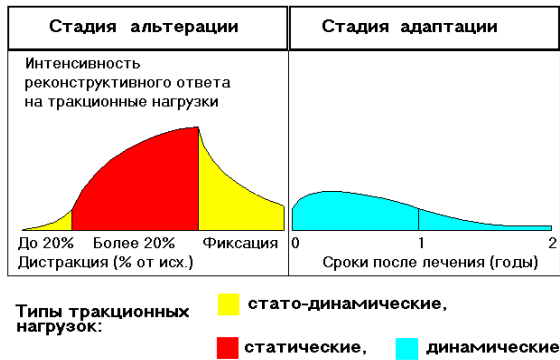


Рис. 6. Стадии реконструктивного нейромиогенеза.

В первой «альтерационной» стадии, совпадающей по времени с дистракционным остеосинтезом, происходит пассивное, преимущественно статичное по характеру растяжение нервных стволов и мышц, вначале (до достижения пороговых величин удлинения) — за счет имеющегося запаса в их длине и эластичности, а на последующих этапах — за счет интенсификации физиологической и активации репаративной регенерации нервных и мышечных волокон, сопровождаемой отчетливым угнетением их функции [4, 5].

Исходя из существующих представлений, мы полагаем, что частичная денервация мышц, подвергнутых растяжению в условиях дистракционного остеосинтеза, создает условия, способствующие дедифференцировке мышечной ткани и более полному проявлению ее структурно-пластических (репаративных) свойств. Тем не менее, при продолжительных сроках денервации, часть мышечных волокон полностью атрофируется (это касается прежде всего фракции волокон, входящих в состав быстрых двигательных единиц), замещаясь соединительной тканью, что впоследствии отражается на контрактильных и реологических свойствах удлиненных мышц — снижении их силы, статической и динамической выносливости, скорости сокращения и расслабления, активном и пассивном объеме движений в смежных суставах [12,13].

Деструктивно-репаративные изменения, охватывающие значительную часть мышечных волокон при удлинении конечности сопровождаются специфическим увеличением активности таких ферментов сыворотки крови, как **КФК** и **ЛДГ**, используемых в качестве биохимического теста для выявления некоторых форм прогрессирующих миодистрофий. Интенсивность ферментемии при удлинении конечностей пропорциональна объему вовлеченной в указанные изменения мышечной массы.

Вторая «адаптационная» стадия характеризуется преобладанием репаративных процессов в мышечной и нервной тканях над вторичной волной реактивных изменений, связанных с

возрастающим динамическими тракционными нагрузками на мышцы-антагонисты, обслуживающие смежные с удлинённым сегментом конечности суставы и нервные стволы. Эти нагрузки обусловлены пассивным и активным вовлечением в двигательную активность удлиненной конечности после прекращения дистракции и, особенно, после снятия аппарата Илизарова. Иными словами, именно в указанной стадии происходит формирование резерва длины и эластичности мышц и нервных стволов, обеспечивающих восстановление необходимого объема активных и пассивных движений в смежных суставах.

Данные стимуляционной ЭМГ (использован сконструированный нами поверхностный отводящий мультиэлектрод типа "гребенка"), полученные в ближайшие и отдаленные сроки после снятия аппарата Илизарова (объект исследования — *m. tibialis ant.*), позволяют утверждать, что реиннервация частично денервированных в процессе удлинения конечности мышц сопровождается изменением пространственной организации («размыванием») зоны синаптических контактов и снижением скорости распространения возбуждения по мышечным волокнам. В течение 3-6 месяцев после снятия аппарата посредством декремент-теста выявляются признаки функциональной недостаточности мионевральной передачи, которая в подобной ситуации, связывается с появлением в процессе реиннервации мышц значительного числа синапсов т. н. «эмбрионального типа». В отдаленные сроки после лечения по данным локальной и стимуляционной ЭМГ в мышцах удлиненных конечностей фиксируются более низкие по сравнению с нормой количество и размеры функционирующих двигательных единиц (рис. 7). Остается повышенным процент полифазных ПД ДЕ. Спектр мощности суммарной биоэлектрической активности мышц, зарегистрированной при попытках максимального произвольного напряжения, фрагментирован и сужен, снижена доминирующая частота и средняя амплитуда ЭМГ, гистограммы распределения амплитуд имеют преимущественно вогнутую форму (обеднение спайковой активностью промежуточных амплитудных поддиапазонов), резко изменен характер зависимости амплитуды огибающей суммарной ЭМГ от величины развиваемого усилия, результаты анализа ЭМГ по Виллисону свидетельствуют об относительном преобладании в мышцах удлиненного сегмента конечности изменений по т.н. «невральному» типу.

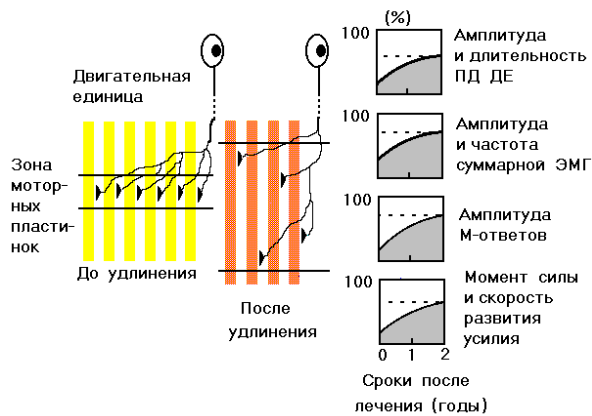


Рис. 7. Тенденции в изменении структурно-функционального статуса мышц удлинённого сегмента конечности в различные сроки после снятия аппарата Илизарова

В рамках изложенных концептуальных представлений разработан комплекс практических рекомендаций, касающихся способов контроля и коррекции функционального состояния центральных и периферических эфферентных и афферентных структур в процессе и после удлинения конечности. В частности, созданы специализированные ЭМГ- и СВП-диагностикумы, ориентированные на выявление инкриминирующих факторов дистракционного остеосинтеза (к примеру, компрессии или раздражения спицами аппарата нервных стволов), прогнозирование пограничных состояний и мониторинг реактивно-репаративных изменений в нейромоторных и нейросенсорных структурах на различных этапах дистракционного остеосинтеза [22].

На основе существующей базы данных разработан интегральный прогностический критерий, основанный на экспертной оценке интенсивности и генерализованности альтерирующих воздействий (и их последствий) на дистальные сенсомоторные структуры удлинённой конечности [7]. Расчет этого критерия производится с учетом уровней остеотомий, моно- или билочности остеосинтеза, моно- или полисегментарности удлинения, темпа или частотного режима удлинения, а также конституционно-

этиологических и антропометрических факторов, модулирующих реактивность и адаптационные возможности тканевых структур удлинённой конечности (возраст пациентов, этиология укорочения, относительные величины исходного укорочения и последующего удлинения, этапность удлинения, использование специализированных реабилитационных технологий, применение в постфиксационном периоде иммобилизирующих повязок).

Предложен и апробирован комплекс инструментальных методик и средств коррекции функции нервных стволов, мышц и двигательных центров, основанный на своевременном изменении режимов удлинения и применении адекватных средств и способов электромиостимуляции [14, 23] и функционального биоуправления [9] на различных этапах лечебно-реабилитационного процесса.

Тем не менее, на сегодняшний день, функциональные исходы оперативного удлинения конечностей не дают основание полагать, что репаративные потенции окружающих кость мягких тканей и используемый арсенал дополнительных средств стимуляции реконструктивного нейромиогенеза являются полностью реализованными. Последнее дает импульс к разработке более совершенных пространственно-временных режимов удлинения конечностей, а также поиску физических и фармакологических средств, поддерживающих динамическое равновесие деструктивно-репаративных изменений в нервах и мышцах на качественно ином уровне.

Из результатов проведенных исследований вытекают также проблемы компенсации дефицита сенсорного обеспечения движений. В основу постдистракционной реабилитации моторного аппарата должны быть заложены современные методы и средства функционального биоуправления, активно использующие телерецепторные каналы обратной связи для формирования новых двигательных навыков различных уровней сложности с участием удлинённой конечности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние оперативного удлинения плеча на электрофизиологические характеристики дистальных нервно-мышечных структур / А.П. Шейн, В.И. Калякина, Г.А. Криворучко М.С. Сайфутдинов // Чрескост. Компрес.-дистракц. остеосинтез по Илизарову в травматол. ортопед.: Сб. науч. тр. - Курган, 1985. - Вып. 10. - С.124-132.
2. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Сенсорные комплексы и сенсомоторная интеграция // Физиология человека. - 1996. - Т. 5, № 3. - С. 399-414.
3. Изменения соматосенсорных потенциалов у больных при удлинении верхних конечностей по Илизарову / А.П. Шейн, М.С. Сайфутдинов, Т.В. Сизова и др. // Метод Илизарова - достижения и перспективы: Тез. докл. междунар. конф., посвящ. памяти акад. Г.А.Илизарова. - Курган, 1993. - С. 158-159.
4. Клинико-физиологические и морфологические характеристики адаптивной перестройки в мягкотканых структурах удлинённой конечности / В.И. Калякина, А.П. Шейн, Н.С. Шеховцова и др. // Значение открытых Г.А.Илизаровым общебиологических закономерностей в регенерации тканей: Сб. науч. тр. - Курган, 1988. - Вып. 13. - С. 63-70.
5. Криворучко Г.А., Шейн А.П. Электромиографический контроль пластических перестроек нервных стволов и мышц в условиях дистракционного остеосинтеза по Илизарову // Лечение ортопедо-травматологических больных в стационаре и поликлини-

- ке методом чрескостного остеосинтеза, разработанного в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Всесою. науч.- практ. конф. - Курган, 1982. - Ч. 2. - С. 79-82.
6. Метод вызванных потенциалов головного мозга в анализе функционального состояния афферентных структур удлиненной конечности / А.П. Шеин, М.С. Сайфутдинов, А.В. Попков и др. // Значение открытых Г.А.Илизаровым общебиологических закономерностей в регенерации тканей: Сб. науч. тр. - Курган, 1988. - Вып. 13. - С. 89-98.
  7. Нейрофизиологические аспекты в прогнозировании функциональных исходов удлинения нижних конечностей / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, А.В. Попков, М.С. Сайфутдинов // Актуальные вопросы биологии опорно-двигательного аппарата: Материалы VIII школы стран СНГ. - Киев, 1996. - С. 111.
  8. Некоторые особенности функциональной организации сенсомоторного аппарата удлиненной конечности / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, А.Н. Ерохин, М.С. Сайфутдинов // II Всерос. Конф. по биомеханике: Тез. докл. - Нижний Новгород, 1994. - Т. 2. - С. 194-195.
  9. Приборы и методы функционального биоуправления в реабилитации двигательных функций верхней конечности при ее удлинении по Илизарову: Пособие для врачей / МЗ РФ, РНЦ "ВТО"; Сост.: А.П.Шеин, М.С.Сайфутдинов. - Курган, 1997. - 21 с.
  10. Развитие сократительной функции мышц двигательного аппарата / Е.К. Жуков, Н.А. Итина, Л.Г. Магазаник и др. - Л.: Наука, 1974. - 339 с.
  11. Смирнов В.М., Шандурин А.Н. Система "схемы тела" и сенсорная организация движений. - Л.: Наука, 1975. - С. 189-195.
  12. Средства и способы контроля, коррекции и прогнозирования функционального 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. // Травматология и ортопедия России. - 1994. - № 2. - С. 100-106.
  13. Шеин А.П. Исследование произвольного управления напряжением скелетных мышц с измененными сократительными свойствами: Автореф. дис... канд. биол. наук. - Казань, 1981. - 25 с.
  14. Шеин А.П., Ерохин А.Н., Новиков К.И. Влияние электростимуляции на произвольную и вызванную биоэлектрическую активность мышц при удлинении нижних конечностей у больных ахондроплазией // Гений ортопедии. - 1995. - № 2. - С. 23-26.
  15. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Калякина В.И. Электрофизиологическое исследование функциональных характеристик среднего и локтевого нервов в условиях оперативного удлинения плеча по Илизарову // Чрескостный компрессионный и distractionный остеосинтез в ортопедии и травматологии: Сб. науч. тр. - Курган, 1980. - Вып. 6. - С. 70-76.
  16. Шеин А.П., Криворучко Г.А. Математический подход к исследованию эффективности системы регуляции мышечного напряжения в норме и при патологии // Чрескостный компрессионный, distractionный и компрессионно-distractionный остеосинтез в травматологии и ортопедии: Сб. науч. тр. - Челябинск: Южно-уральское книжное изд-во. - 1976. - Вып. 2. - С. 117-122.
  17. Шеин А.П., Криворучко Г.А. Метод оценки сенсомоторной адаптации человека-оператора в замкнутой системе регулирования // Теоретические и прикладные исследования психической саморегуляции. - Казань: Изд-во Казанского университета. - 1976. - С. 98-104.
  18. Шеин А.П., Криворучко Г.А. Некоторые физиологические аспекты синтеза биотехнических систем с изометрическими органами управления // Тезисы докладов третьей всесоюзной конференции по проблемам биомеханики. - Рига, 1983. - С. 267-268.
  19. Шеин А.П., Криворучко Г.А. Особенности формирования навыка зрительных сенсомоторных координаций при использовании изометрических органов управления // III Всерос. Конф. по биомеханике. - Нижний Новгород, 1996. - С. 197-198.
  20. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Чипизубов А.А. Влияние удлинения бедра по Илизарову на функциональные характеристики большеберцового и малоберцового нервов у детей // Чрескостный компрессионно-distractionный остеосинтез в травматологии и ортопедии: Сб. науч. тр. - Курган, 1986. - Вып. 11. - С. 84-91.
  21. Шеин А.П. ЭМГ- и СВП- характеристики дезинтеграции в системе "схема тела" при удлинении конечностей по Илизарову // International symposium on transcranial doppler and intraoperativ monitoring: Scientific reports. - St. Petersburg, 1995. - С. 99.
  22. Электромиографический контроль функционального состояния нервов и мышц при удлинении конечностей по Илизарову: Методические рекомендации / МЗ РСФСР, ВКНЦ "ВТО"; Сост.: А.П.Шеин, В.И.Калякина, Г.А.Криворучко, А.Н.Ерохин. - Курган, 1991. - 25 с.
  23. Электростимуляция мышц при удлинении конечностей по Илизарову: Методические рекомендации / МЗ РСФСР, ВКНЦ "ВТО"; Сост.: А.Н.Ерохин, А.П.Шеин, В.И.Калякина. - Курган, 1991. - 16 с.
  24. Head H. Studies in Neurology. - London: Hodder and Stoughton, 1920. - Vol. 2.
  25. Shein A.P., Shevtsov V.I., Shapkov U.T. Discoordination as consequence of "body scheme" system disturbances in case of limb lengthening // XXXIII international congress of physiological sciences. - St. Petersburg, 1997. - P. 106-107.

Рукопись поступила 02.11.98.