Методические рекомендации
по исследованию максимальных нагрузок на суставы и позвоночник с целью профилактики травматизма спортсменов с применением методов математического моделирования

Москва 2013

Оглавление

Введение 3
Основные факторы риска и причины травм ОДА в спорте 4
Травмы позвоночника в спортивной деятельности 12
Повреждения коленного сустава 24
Воздействие вибрации на ОДА во время выполнения спортивных упражнений 28
Воздействие динамических ускорений и ударных нагрузок 39
Моделирование коленного сустава 50
Моделирование биомеханики позвоночника 54
Влияние спортивных нагрузок на функциональное состояние суставов и позвоночника и прогнозирования риска получения травмы 68

Введение

В условиях современных спортивных тренировок и соревнований, суставы и различные элементы позвоночника подвергаются постоянному риску получения травмы по причине неблагоприятного воздействия высоких силовых и ударных нагрузок и вибраций при исполнении спортивных движений и поз. В результате этого возникают специфические повреждения, заболевания и отклонения в формировании позвоночника и суставов, характерные для определенных видов спорта. На фоне этого нередко наблюдается прекращение роста спортивных результатов, их снижение или даже потеря спортивной работоспособности.

Важной особенностью спортивного травматизма является наличие уязвимых звеньев ОДА, патология которых составляет абсолютное большинство поражений, прежде всего коленного сустава и миоэнтезического аппарата верхних и нижних конечностей. Выполняя огромные физические нагрузки, все спортсмены до некоторых пор не испытывают болезненных ощущений со стороны ОДА. Однако те же нагрузки, достигая определенных величин, могут играть провоцирующую роль в возникновении и развитии самой разнообразной патологии, что в конечном итоге и является причиной обращения к спортивному врачу.

Травматические повреждения (заболевания) суставов конечностей и позвоночника при занятиях спортом занимают значительное место и существенно влияют на работоспособность спортсменов. Внезапное прекращение высокоинтенсивной мышечной и психо-нервной деятельности отрицательно сказывается не только на состояние ОДА, но и на функции внутренних органов и систем.

Состояние детренированности, которое неизбежно следует за спортивной травмой, ведет к снижению основных физических качеств, техники двигательных действий и умений в избранном виде спорта.

Математическое моделирование влияния нагрузок на суставы и позвоночник с целью оценки риска получения спортивной травмы в различных видах спорта может оказать существенную помощь в коррекции тренировочных программ и технических элементов спортивных движений с учетом особенностей вида спорта и индивидуальных особенностей опорно-двигательного аппарата (ОДА) спортсмена.

Основные факторы риска и причины травм ОДА в спорте

Повышая эффективность учебно-тренировочного процесса, тренер не должен забывать о раннем выявлении и устранении причин, вызывающих то или иное патологическое состояние спортсмена.

Согласно принятой классификации, имеется 5 групп причин, которые приводят к травмам и заболеваниям у спортсменов:

1. Недостатки в организации и методике учебно-тренировочных занятий и соревнований.
2. Неудовлетворительное состояние мест занятий, оборудования, спортивного инвентаря, одежды и обуви спортсменов.
3. Неблагоприятные санитарно-гигиенические и метеорологические условия при проведении учебно-тренировочных занятий и соревнований.
4. Нарушение правил врачебного контроля.
5. Нарушение спортсменами дисциплины и установленных правил во время тренировок и соревнований.

В основе происхождения спортивной травмы, так же как и в любой другой форме патологии, лежат объективные и субъективные факторы, каждый из которых в одном случае может быть причиной повреждения, а в другом - условием его возникновения. Здесь следует учитывать, кроме того, характер и локализацию травмы, находящиеся в зависимости от квалификации и возраста спортсмена. Так, у новичков и спортсменов низших разрядов преобладают легкие травмы, не требующие длительного лечения

(ушибы мягких тканей, ссадины, явления, связанные с перегрузкой ОДА, и т. п.).

У высококвалифицированных спортсменов отмечается уменьшение количества травм. Спортивная квалификация, стаж и спортивный опыт позволяют им избежать многих повреждений. Для спортсменов высокой квалификации характерны специфические травмы, связанные с особенностями их спортивной деятельности и вызванные чрезмерной, многократно повторяющейся нагрузкой.

Кроме того, для определения направлений и мер профилактики травматизма в спорте необходимо учитывать организационные и методические недостатки в построении учебно-тренировочного процесса, а именно:

- отсутствие достаточно продолжительного периода предварительной общефизической, психической и двигательной подготовки, во время которой соответствующие способности спортсмена доводятся до уровня, позволяющего приступить к обучению двигательным действиям;
- неправильное формирование двигательного навыка при начальном обучении, т. е. формирование ошибочной техники, присущей избранному виду спорта;
- неправильная структура процесса обучения, т. е. отсутствие последовательности в постановке задач, выборе методов и средств обучения и т. п.;
- погрешности в проведении тренировки отдельных микро- и мезоциклов, всего годичного цикла, многолетней подготовке, т. е. неправильный выбор упражнений и нагрузок, чрезмерные нагрузки при недостаточном восстановлении, стремление продлить пребывание в состоянии пика спортивной формы, сокращение времени отдыха для

увеличения общего времени тренировки, недостаточный для восстановления перерыв между соревнованиями и др.;

- отсутствие индивидуального подхода к спортсмену без учета его возраста, состояния здоровья, степени подготовленности и тренированности, уровня и особенностей развития (типологические особенности нервной деятельности, темперамент, психологические особенности), условий жизни, труда и учебы, мотивации.

Основная и решающая роль во всем этом принадлежит тренеру.

При подробном опросе спортсменов, получивших травму, выясняются совпадения, на первый взгляд едва заметные: череда неблагоприятных обстоятельств, соединяющих те или иные случайности, которые вырастают в закономерную логическую цепочку. Не изучив внимательно эти обстоятельства, не исследовав их достаточно глубоко, за основную причину травмы принимают ту, которая непосредственно к ней привела. Если же провести подробный анализ, то почти всегда можно найти некий отправной момент, являющийся как бы пусковым механизмом возникновения травмы. Чаще всего таким отправным моментом являются различные факторы риска.

Факторы риска - это вредно действующие агенты, которые сами не в состоянии вызвать травму, но в определенных условиях способствующие ее возникновению и клиническому проявлению, особенно если одни факторы сочетаются с другими.

Например, алкоголь, курение, недостаточная тренированность и т. п. являются факторами риска в отношении возникновения перенапряжений ОДА у спортсменов. Каждый из них в какой-то мере способствует перенапряжению, но если эти факторы действуют в совокупности, вероятность возникновения травмы или заболевания возрастает в несколько раз (рис 1.).

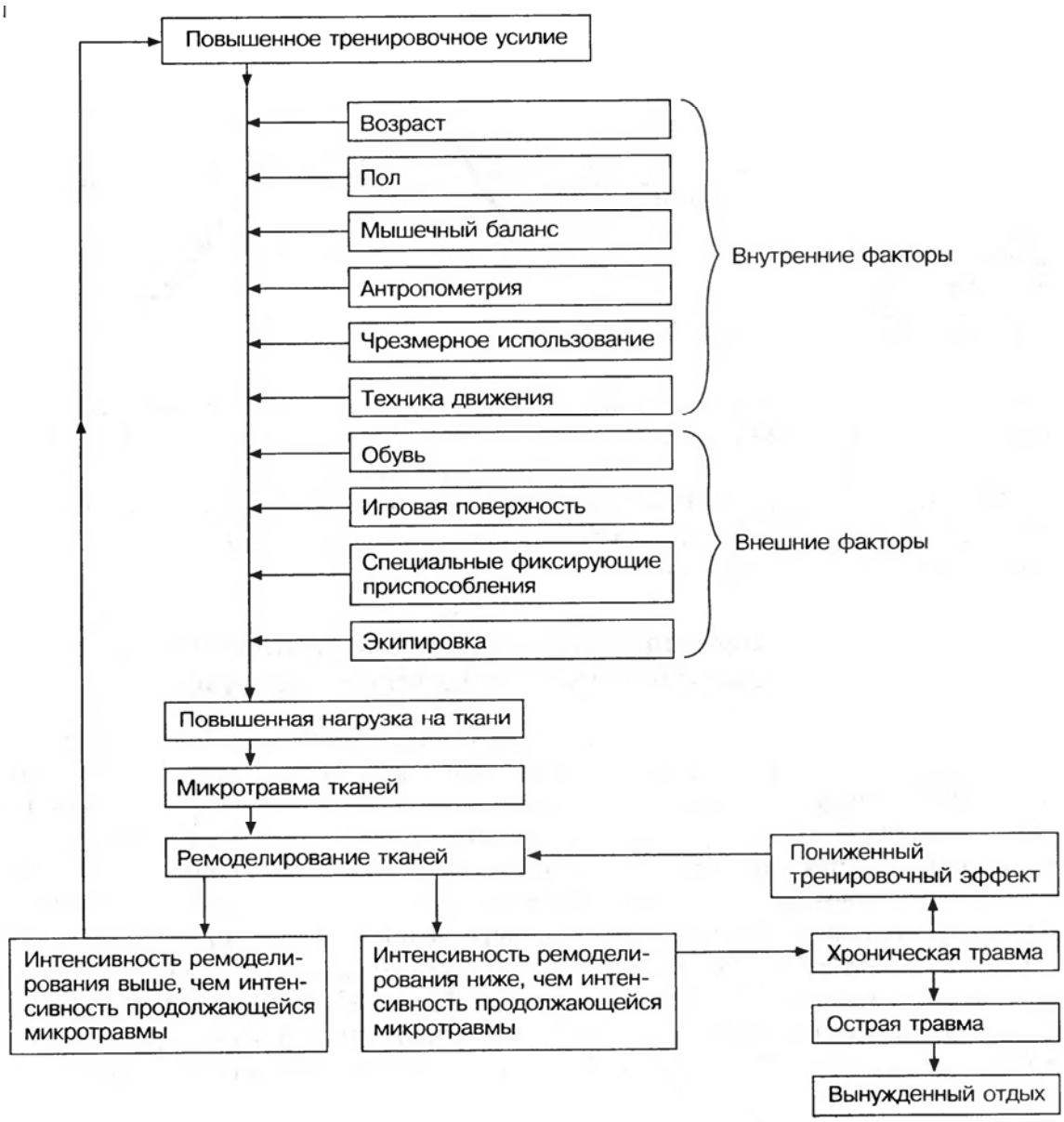

Рис. 1. Модель развития спортивной травмы относительно внутренних и внешних факторов риска

Компенсаторные возможности человеческого организма позволяют противодействовать этим факторам. В тех же случаях, когда сопротивляемость организма снижена по тем или иным причинам, возникают травмы. К общим факторам риска относятся: отклонения в состоянии здоровья, недостатки в общей физической подготовленности, утомление, нарушения весового режима, курение, употребление алкогольных напитков, применение стимуляторов, неблагоприятные погодные и климатические условия, нарушения правил врачебного контроля и самоконтроля.

Согласно традиционной точке зрения причинами хронического перенапряжения и острых травм ОДА у спортсменов, как правило, являются форсированные нагрузки, превышающие физиологические возможности организма.

В частности, к этиологическим факторам травм и заболеваний ОДА у лиц, занимающихся физической культурой и спортом, традиционно принято относить:

- недочеты и ошибки в методике проведения занятий (форсированная тренировка, плохая разминка без учета возраста, пола, подготовленности и др);
- недостатки в организации проведения занятий (плохое освещение, неподготовленные снаряды, покрытие-и пр.);
- неполноценная материально-техническая база (несоответствующие возрасту снаряды, например, в спортивной гимнастике, обувь, одежда и пр.);
- неблагоприятные климатические и гигиенические условия (влажность, температура воздуха, воды в бассейне и др.);
- неправильное поведение занимающегося (поспешность, невнимательность и др.);
- врожденные особенности ОДА;
- недостаточная физическая подготовленность:
- наклонность к спазмам мышц и сосудов;
- переутомление (перетренированность), приводящее к нарушению координации движений;
- несоблюдение сроков возобновления занятий после перенесенных травм или заболеваний;
- нарушение врачебных требований, предъявляемых к организации процесса тренировки (допуск к тренировкам без врачебного осмотра);
- чрезмерное форсирование силовой и общей физической подготовки на начальном этапе тренировочного цикла;

- наличие в ОДА слабого звена, в котором при выполнении физической нагрузки происходит концентрация напряжений и, как следствие этого, перегрузки тканей и их травмирование.

Комплекс мер профилактики травм и заболеваний ОДА, приводимый в большинстве литературных источников, в принципе однотипен и включает в себя:

1. Полноценную разминку.

2. Соблюдение санитарно-гигиенических требований.

3. Соблюдение дидактических принципов построения тренировки.

4. Страховку и другие методические приемы, характерные для того или иного вида спорта.

5. Использование восстановительных мероприятий.

И только в ряде работ обращается внимание на то, что в профилактике хронических заболеваний и острых травм ОДА у спортсменов особое место должно занимать устранение его определенных слабых звеньев.

В конечном итоге, несмотря на хорошо развитые компенсаторные механизмы человека, при выполнении спортивных упражнений в относительно слабых отделах ОДА возникает концентрация усилий, что сопровождается их перегрузкой.

В годичном тренировочном цикле спринтеров наибольшее количество травм - 58% приходится на подготовительный и основной периоды подготовки. При этом следует заметить, что в 75% случаев травмы возникают на тренировках и значительно реже - во время соревнований.

Основные причины травматизма у спринтеров: неудовлетворительное состояние беговых дорожек, методические погрешности, в частности, недостаточная разминка, и как следствие при резком старте надрывы и разрывы мышечных и сухожильных волокон, среди причин можно выделить и технические погрешности и психоэмоциональное состояние. К важным причи-

нам относят: состояние тренированности, самочувствие, настрой на тренировочную.

Непосредственной причиной возникновения травмы у спринтеров могут быть падения, т.е. прямой механизм травмы - 36% всей патологии. Нарушение координации движений (резкое сгибание, разгибание или скручивание в суставе), т.е. непрямой механизм травмы, составляет - 59% всей патологии, меньший процент был отмечен при комбинированном механизме травмы - 18% всей патологии.

Практика показывает, что подавляющее большинство травм в легкоатлетических прыжках возникает вследствие, либо влияния объективных факторов (недочеты и погрешности организационного и методического характера) в учебно-тренировочном процессе и соревновательной деятельности спортсмена, либо влияния субъективного фактора (тактико-технической, физической, морально-волевой подготовленности, состояния здоровья и др.).

Легкоатлетические прыжки относятся к категории моноструктурных скоростно-силовых упражнений максимальной мощности относительно стабильной формы, характеризующиеся большими объемами прыжковой и специально-технической работы, а также упражнениями общеразвивающего характера. Занятия прыжковыми видами спорта предъявляют высокие требования к ОДА спортсмена, так как требуют проявления таких качеств как сила, скорость, ловкость, гибкость, сложная координация движений, высокий уровень психоэмоциональной устойчивости и морально-волевых качеств.

У прыгунов в длину методические ошибки приводят к ошибкам технического характера. Методического же характера причины сводятся к нарушению принципа постепенности, т.е. излишне большие объемы и высокая интенсивность нагрузок без учета достаточности восстановления морфо- функционального состояния ОДА. Достаточно высок процент

случаев травм, связанных с утомлением, которое может привести к грубым нарушениям координационных механизмов, а это приводит к нарушению выработанного двигательного автоматизма и ошибкам в технике исполнения того или иного движения.

Изучение механизма возникновения травм у прыгунов в длину и в тройном прыжке показало, что повреждения, возникающие из-за неправильного приземления, составляют 55 % всей патологии (Башкиров В.Ф.). Наряду с этим, травмы отмечаются в момент разбега, толчка, приземления на расслабленные ноги и т.д.

У прыгунов в тройном прыжке, также как и у представителей других легкоатлетических прыжков травмы чаще всего возникают во время проведения учебно-тренировочных занятий, а в процессе соревновательной деятельности довольно редки.

Среди причин технического характера следует назвать следующие: неправильная постановки ноги на грунт во время прыжка, т.е. «натыкание» в шаге, а также при выполнении прыжковых упражнений.

Прямой механизм травмы у прыгунов тройным прыжком сопряжен с падениями и ударами, а непрямой - с неправильной артикуляцией в суставах нижней конечностей.

По мнению Воробьева Г.П. основной причиной травм является перегрузка определенных отделов ОДА, вызванная нарушением гармонии его формирования. Остальные неблагоприятные факторы являются усугубляющими или провоцирующими.

Рост спортивных результатов и введение синтетических покрытий в значительной степени способствовали перегрузкам и соответственно росту спортивного травматизма.

К не менее распространенным видам повреждений при занятиях легкой атлетикой относятся подкожные разрывы сухожилий мышц конечностей, так

как сухожильно-мышечный аппарат нижних конечностей выполняет большую физическую нагрузку.

Растяжения, надрывы и разрывы мышц, сухожилий и фасций - частые спортивные повреждения. Они отличаются друг от друга степенью и локализацией происходящих при них нарушений эластических свойств и анатомической целостности мышечной ткани.

Растяжения, надрывы и разрывы могут происходить:

- при резких маховых движений, превышающих по амплитуде пределы подвижности в соответствующих суставах;
- при внезапном сильном противодействии сокращению или внезапном растяжении сокращающейся с большим напряжением, а в отдельных случаях и с большой скоростью мышцы;
- при ударе, нанесенном по мышце или по сухожилию в момент сокращения мышцы.

Травмы позвоночника в спортивной деятельности

В статическом положении позвоночник испытывает действие сил тяжести отдельных сегментов человеческого тела, расположенных выше тазового сочленения. Уже это создает деформирующую нагрузку на позвонки и межпозвонковые диски и, как известно, может привести к патологии позвоночника при неправильной осанке. При простых движениях (ходьбе, наклонах и пр.) вид деформирующей нагрузки изменяется, что также может привести к патомеханическим последствиям. Позвоночник спортсменов при этих действиях подвергается значительным перегрузкам. Длительный тренировочный процесс приводит к укреплению всего костно-мышечного аппарата спортсменов, адаптации его к высоким нагрузкам и перегрузкам; позвоночник у людей, занимающихся спортом, как правило, бывает защищен мышечным корсетом. И тем не менее, случаи травматизма позвоночного столба имеют место. Рассматриваемая модель позвоночника (в

виде эластичного, предварительно изогнутого стержня, обладающего определенными механическими характеристиками) позволяет моделировать различные виды травмирующих действий. Внешнее усилие может быть приложено в любой точке позвоночного столба, можно изменять направление, величину, скорость и другие параметры внешнего усилия. В зависимости от этого можно определить напряжения, возникающие в позвоночнике.

Повреждения и заболевания позвоночника у спортсменов составляют 11,5% от всей патологии ОДА. По характеру и локализации патологического процесса эти изменения весьма разнообразны. Среди повреждений превалируют переломы костной системы позвоночника (тел позвонков, поперечных, остистых отростков), что составляет 7,7%. Дисторзии отмечены в 3,8%, ушибы мягких тканей позвоночного столба – в 2,6% случаев. Среди заболеваний ведущее Положение (около 45%) занимают патологические изменения дегенеративного характера: межпозвонковый остеохондроз, деформирующий артроз суставов и позвоночника, спондилез. Аномалийные изменения позвоночного столба в основном пояснично-крестцового отдела наблюдаются в 19,6% случаев. Сколиотическая деформация позвоночника составляет 4,5%.

Следует отметить, что патология позвоночника проявляется и в молодом возрасте. Поражения позвоночника в 2 раза чаще наблюдаются у мужчин, чем у женщин.

Наиболее часто травмы и заболевания позвоночника выявляются у гимнастов, лыжников-гонщиков, горнолыжников и спортсменов, специализирующихся в водных лыжах. Довольно большой процент (11,9%) заболеваний позвоночника приходится на легкоатлетов (спринтеры, прыгуны в высоту, метатели молота, толкатели ядра), а также борцов вольного, классического стилей и самбистов.

Травмы позвоночника являются одним из самых тяжелых повреждений ОДА. Это обусловлено разнообразием функций позвоночного столба, который, во-первых, обеспечивает нормальную функцию сложнейших нервных связей, осуществляемых спинным мозгом и его элементами, во-вторых, является важным звеном ОДА человека, которое несет значительные статико-динамические нагрузки.

При повреждениях позвоночника различают четыре основных механизма действия повреждающего насилия: сгибательный, сгибательно-вращательный, разгибательный и компрессионный.

Каждый из этих механизмов можно отнести к категории стабильных или нестабильных повреждений. Стабильность передних отделов позвоночника обеспечивается межпозвоночными дисками, передней и в меньшей мере задней продольными связками. Задние отделы позвонков удерживаются относительно друг друга наружными межпозвоночными суставами, межостистой, надостистой и желтой связками. Во всех случаях, когда элементы заднего опорного комплекса остаются неповрежденными, повреждения позвоночника остаются стабильными. В тех случаях, когда задний опорный комплекс повреждается, повреждения позвоночника относятся к нестабильным.

Дисторзия связочного аппарата позвоночника наблюдается главным образом у борцов классического и вольного стилей, самбистов, прыгунов в воду, гимнастов и легкоатлетов (прыгуны в высоту). Наиболее часто поражению подвержен связочный аппарат шейного отдела позвоночника, реже поясничного и грудного.

На основе исследований выявлено, что основными механизмами повреждения связок шейного отдела позвоночника являются: сгибательный – 70%, сгибательно-вращательный – 15,3%, компрессионный – 14,7%. Повреждения шейного отдела позвоночника во время борьбы могут быть вызваны непрямой травмой (в момент действия силы реакции опоры на

голову борца в завершающей стадии бросков). Под непрямой травмой имеется в виду воздействие силы реакции опоры по продольной оси позвоночника с точкой приложения к определенной части головы. При прямой травме внешняя сила действует в направлении поперечника шейного отдела позвоночника непосредственно на конкретную его область.

Причины травм шейного отдела позвоночника весьма разнообразны. Самая частая в практике борьбы – некоординированное падение на голову при завершении бросков в стойке, сгибательно-разгибательное движение, превосходящее физиологическую подвижность шейного отдела позвоночника.

Наибольшая нагрузка при выполнении моста, применяемого как средство защиты и как элемент действия в ряде атакующих и контратакующих приемов в борьбе, приходится на самую подвижную часть позвоночника – шейный отдел. При этом происходит значительное разгибание шейного отдела позвоночника, что обеспечивает выполнение опорной фазы.

Определить повреждения связочного аппарата шейного отдела позвоночника часто бывает трудно. Отсутствие хорошо разработанных комплексных методик диагностики повреждений связок приводит к тому, что незначительная часть травмированных спортсменов попадает в стационары и медпункты с диагнозом: «ушиб шейного отдела позвоночника». В результате подобные повреждения повторяются и могут привести впоследствии к тяжелым травмам или хроническим заболеваниям.

Разрывы межостистых связок в поясничном отделе позвоночника являются причиной появления поясничных болей. Как правило, разрывы этих связок возникают при чрезмерном сгибании поясничного отдела позвоночника и наиболее часто встречаются у гимнастов, акробатов, тяжелоатлетов. Клинически они проявляются остро или исподволь воз-

никшими поясничными болями. Им может предшествовать форсированное сгибание в поясничном отделе позвоночника.

Переломы поперечных отростков у спортсменов возникают вследствие сильного сокращения прикрепляющихся к ним мышц, внезапного чрезмерного сокращения квадратной мышцы поясницы, прикрепляющейся к XII ребру, поперечным отросткам I–IV поясничных позвонков и поясничной мышце. Значительно реже эти повреждения возникают от воздействия прямого удара. При этом чаще ломается поперечный отросток III поясничного позвонка, так как он длиннее остальных.

Переломы остистых отростков у спортсменов встречаются редко и возникают в области шейного и поясного отделов позвоночника под воздействием как прямого, так и непрямого насилия. При полном разгибании остистые отростки шейного отдела позвоночника защищены от прямой травмы. В положении сгибания перелом остистого отростка VII шейного позвонка и I грудного может произойти от воздействия прямой травмы (падение с мотоцикла на спину). Чаще эти отростки отрываются в результате мышечного сокращения (при выполнении рывка у тяжелоатлетов). Полностью оторвавшийся остистый отросток смещается книзу под влиянием тяги ромбовидной мышцы.

Изолированные повреждения поясничных межпозвоночных дисков - этот вид травмы у спортсменов локализуется в поясничном отделе позвоночника. Возникает при непрямом воздействии насилия. Причиной повреждения служит поднятие спортсменами тяжестей, а также форсированные ротационные и сгибательные движения. Механизм изолированного повреждения поясничных межпозвоночных дисков у спортсменов сходен с механизмом компрессионного перелома тел позвонков. Однако чаще всего изолированное повреждение диска наблюдается у тяжелоатлетов и спортсменов других видов спорта, использующих штангу в качестве общеукрепляющего средства.

Это могут быть ограниченные или более обширные повреждения с образованием травматических хрящевых «грыж». Последние происходят в результате:

а) выпадения диска кпереди (передние «грыжи»);

б) смещения вещества диска кзади (задние «грыжи») ;

в) внедрения вещества диска в тело позвонка (центральные «грыжи»);

г) смещения вещества диска в сторону (боковые «грыжи»).

Небольшое заднее выпячивание пульпозного ядра по средней линии кзади, а также передние, боковые и центральные «грыжи» нередко не дают значительных клинических проявлений. Наиболее тяжело протекают задние хрящевые «грыжи». Учитывая анатомические соотношения между межпозвоночным диском, спинномозговыми корешками, спинным мозгом при задних хрящевых «грыжах» возможно сжатие элементов спинного мозга и спинномозговых корешков (параплегия, расстройство функции тазовых органов, а также вегетативные нарушения).

Пострадавшие жалуются на внезапную резкую боль в поясничном отделе позвоночника, на резкое ограничение активных движений в поясничном отделе позвоночника. Нередко боли распространяются по ходу спинномозговых корешков.

Известно, что поврежденный межпозвоночный диск не восстанавливает своих утерянных амортизационных функций, медленно подвергается замещению рубцовой тканью. Вокруг диска непременно образуются боковые костные спайки, которые являются результатом компенсации процессов в поврежденных дисках. Для создания дополнительной внешней стабилизации очень важно в процессе дальнейшего лечения спортсменов постоянно укреплять и развивать мышечный «корсет».

Подвывихи шейных позвонков в более тяжелых случаях могут сопровождаться кровоизлиянием вокруг спинного мозга и тетраплегией, которые иногда приводят к смерти.

Симптомы. Клиническая картина сходна с растяжением шейных межостистых связок. Обязательно рентгенологическое исследование. На рентгенограммах определяется легкое смещение спереди тела вышележащего позвонка, сужение передней части межсуставного промежутка.

Вывихи в атланто-окципитальном сочленении в клинической практике встречаются крайне редко, так как обычно они приводят к мгновенной смерти пострадавшего. Повреждение возникает при воздействии массивной травмы.

Переломы зуба аксиса и смещение в области атланто-аксиального сочленения встречаются наиболее часто, как следствие тяжелой транспортной травмы (у мотокроссменов, автогонщиков, велосипедистов).

Среди повреждений позвоночника довольно большую группу составляют *переломы тел позвонков* (7,7%). Характер и локализация этого вида травмы различны. Наибольшее количество повреждений приходится на компрессионные неосложненные переломы тел позвонков в области XII грудного и I поясничного позвонков. Компрессионные переломы тел шейных позвонков чаще всего возникают после удара головой о воду у прыгунов с трамплина, при ушибе головы о крышу автомобиля или при резкой внезапной остановке быстро движущегося автомобиля (в данном случае возможны и разгибательные повреждения шейного отдела позвоночника), при сильном столкновении спортсменов-игроков. Компрессионные переломы шейного отдела позвоночника встречаются у борцов вольного стиля, регбистов в результате применения различных силовых приемов.

Переломы тел грудного отдела позвоночника чаще наблюдаются у горнолыжников, альпинистов, мотоциклистов, лыжников и происходят при падениях в момент резкого насильственного сгибания позвоночника. Компрессионные переломы в месте перехода грудного отдела в поясничный часто встречаются также у гимнастов в момент жесткого приземления после выполнения сложного прыжка или соскока.

На протяжении длительного времени представления о нарушениях функционального состояния ОДА в основном ограничивались вопросами, касающимися изменений положения позвоночника в сагиттальной (нарушение глубины физиологических изгибов) и фронтальной (сколиотическая деформация) плоскостях, чему были посвящены многочисленные исследования, проводимые с самым различным контингентом спортсменов.

В последнее время принято выделять целый ряд патобиомеханических изменений в виде локального функционального блокирования, локальной гипермобильности миодистонически-миодистрофических изменений, региональных постуральных дисбалансов мышц и неоптимального двигательного стереотипа.

Наиболее частым из патобиомеханических нарушений позвоночника и суставов является функциональное блокирование, под которым понимается обратимое ограничение подвижности при изменении взаиморасположения внутрисуставных соединительнотканных элементов, реализуемое в связи с рефлекторной околосуставной миофиксацией.

Причины возникновения функционального блокирования многообразны и могут быть сведены к следующим механизмам: 1) неадекватному двигательному стереотипу; 2) неадекватной статической нагрузке; 3) длительной и в крайних положениях адекватной статической нагрузке; 4) неадекватной динамической нагрузке в виде значительного усилия или рывкового движения; 5) пассивному перерастяжению; 6) ноцицептивным рефлекторным влияниям (висцеромоторным, вертебромоторным, сенсомоторным) при нарушениях ведущих органов и систем организма и 7) моторно-трофической недостаточности при иммобилизации.

Ключевыми регионами в плане функционального блокирования принято считать краниоцервикальный, шейно-грудной, грудо-поясничный и

пояснично-крестцовый переходы, а также, во вторую очередь, области C_3 – C_4 и Th_4 – Th_5. Главные зоны - зоны соединения позвоночника с головой и тазом. Обе эти ключевые точки имеют особенно большое значение для функции всего позвоночника и, к тому же, они испытывают большую функциональную нагрузку в связи с чем, в большей степени подвержены травме.

Хрупкие позвонки верхне-шейного отдела позвоночника не только несут на себе тяжесть головы, но и способствуют ее экскурсиям во все стороны. При блокировании кранио-цервикальной области возникает большой дефицит движения, который должны компенсировать другие шейные позвонки. Важнейшее движение в атланто-затылочных суставах - ротация - мало свойственно другим шейным позвонкам, поэтому компенсация функционального блокирования на уровне C_0-C_1 для нижнешейных позвонков столь затруднительна и травматична.

Не менее значима и роль крестцово-подвздошного соединения, поскольку крестцово-подвздошные суставы определяют позицию и функцию крестца как основы позвоночника. Они амортизируют движения нижних конечностей и смягчают их нагрузку, переносимую на позвоночник. При блокировании крестцово-подвздошных суставов и смещении костей таза возникают асимметричные функции, что сопровождается сильным воздействием на статику позвоночника.

Из-за функционального напряжения ключевых точек или ключевых регионов в них наиболее часто возникают первичные повреждения позвоночника, возможность возникновения которых усугубляется тем, что именно в области суставов головы и крестцово-подвздошных суставов отсутствуют межпозвонковые диски, и именно здесь наиболее часты нарушения, происходящие в детском возрасте.

Шейный отдел позвоночника менее мощный и более подвижный, чем поясничный, в целом подвергается меньшим нагрузкам. Однако нагрузка на 1 $см^2$ диска шейного отдела не меньше, а даже и больше, чем на 1 $см^2$

поясничного отдела. Вследствие этого дегенеративные поражения шейных позвонков встречаются так же часто, как и в поясничном отделе.

Фиксационные расстройства обнаруживаются либо в виде деформаций - статическая фиксация, либо в виде уменьшения объема движений - динамическая фиксация. И та, и другая фиксации по выраженности могут быть умеренными, средними и резко выраженными (вплоть до блокады). При этом патогенез фиксационных нарушений может быть направлен либо по пути склерозирования амортизационных структур - органическая фиксация, либо в сторону функциональной ретракции мышц - миофиксация. Топика фиксации может быть локальной, ограниченной и распространенной. В процессе своего эволюционирования фиксация или остается редуцированной, или становится разрозненной (при появлении ее новых очагов), или превращается в сплошную (при объединении нескольких или разрастании основного очага). Фиксация считается полной, если ограничиваются все степени свободы, и неполной - при их частичном ограничении. Фиксация бывает стойкой и нестойкой, патогенирующей или саногенирующей (когда речь идет о стабилизации или улучшении), де-, суб- и компенсирующей.

В соседнем с блокированным двигательным сегментом позвоночника, как правило, компенсаторно развивается повышенная подвижность. Длительное существование и повторное развитие функционального блокирования в одном и том же позвоночном двигательном сегменте может привести к переходу сопровождающей его локальной гипермобильности в нестабильность, которая утрачивает способность к обратимости. В то же время, в связи с развивающейся перегрузкой, в этой зоне может произойти блокирование, поэтому нередко наблюдается функциональная блокада многих измененных позвонков в нижнешейном и поясничном отделах.

В клинике патобиомеханических проявлений различных нарушений ОДА особое место занимает и региональный постуральный дисбаланс

мышц, который представляет собой региональное нарушение функциональных тонусно-силовых взаимоотношений мышц, характеризующееся укорочением преимущественно постуральных и расслаблением преимущественно фазических (или антагонистических) мышц, сопровождающееся своеобразием двигательного стереотипа.

С позиции патобиомеханики постуральных и фазических мышц причинами постурального мышечного дисбаланса, отмечает автор, могут быть:

1. Гипертонус укороченной мышцы, сопровождаемый снижением порога ее возбудимости при сохранности нейромоторного аппарата.
2, Гипотонус расслабленной мышцы (синонимы - растянутая, утомленная мышца), имеющей повышенный порог возбудимости при сохранности нейромоторного аппарата.
3. Переходные формы: а) укороченная гипотоничная мышца (например, вследствие укорочения ее фасциального ложа) и б) растянутая гипертоничная мышца (например, находящаяся в состоянии эксцентрического сокращения).

Согласно данным литературы, все указанные выше патобиомеханические проявления могут приводить к изменениям типичного моторного паттерна и оптимального двигательного стереотипа.

При этом под типичным моторным паттерном понимается элементарный двигательный акт региона позвоночника и/или конечностей, возникающий вследствие эволюционно выработанной закономерности последовательного или параллельного включения 5 основных групп мышц с соответствующим типом сокращения: агонистов, синергистов, нейтрализаторов, фиксаторов и антагонистов (Л.Ф.Васильева).

Под оптимальным же двигательным стереотипом имеется в виду относительно устойчивое индивидуальное своеобразие движений и положения тела, обусловленное функциональной двигательной системой,

интегрирующей генетические структурно-функциональные свойства с приобретенными в течение жизни особенностями ОДА.

Согласно Л.Ф. Васильевой (1996), *первый* донозологический этап формирования неоптимального двигательного стереотипа - это этап функционального напряжения. Он обусловлен индивидуально неадекватными (по силе и/или длительности) физическими нагрузками (статическими и/или динамическими) на определенный регион ОДА, особенно при аномалиях или особенностях его развития.

На этапе функционального напряжения, наряду с субъективным ощущением утомляемости, при значительных динамических или длительных статических нагрузках могут выявляться единичные локальные функциональные блоки I–II степени выраженности, безболезненные локальные миодистонические участки, региональный постуральный дисбаланс мышц I–II степени при оптимальном или неоптимальном двигательном стереотипе, чаще I степени.

Второй - это этап функциональной недостаточности. Он является следствием смены периода напряжения перенапряжением со стадией истощения и собственно преморбидных специфических изменений.

На этапе функциональной недостаточности, наряду с утомляемостью при умеренных нагрузках, дискомфортными ощущениями и нередко преходящими болями слабой интенсивности, могут выявляться единичные или групповые локальные функциональные блоки I–III степени выраженности, безболезненные или I степени болезненности, нерезко выраженная локальная гипермобильность, рефлекторные вертебросенсорные нарушения, локальные безболезненные или нерезко болезненные миодистрофически-миодистонические участки, региональный постуральный дисбаланс мышц I–III степени, чаще при неоптимальном двигательном стереотипе I-II степени.

Третий этап развития процесса в опорно-двигательном аппарате проявляется дистрофическими изменениями в межпозвонковых дисках, межпозвонковых суставах и суставах конечностей.

Повреждения коленного сустава

Повреждения коленного сустава у спортсменов встречаются довольно часто и составляют 40% всей патологии ОДА.

Движение в первую очередь происходит в сагиттальной плоскости и лимитируется главным образом крестообразными связками. Кроме того, в создании движения участвуют несколько групп мышц. Такая плоская модель коленного сустава показана на рис. 2. Мышцы можно условно разделить на флексоры (сгибатели) и экстенсоры (разгибатели). К флексорам относятся мускулы: semimembranosus, semitendinosus и biceps femoris. Они соединяют таз и голень и являются основными флексорами. Кроме того, в сгибании коленного сустава участвуют мышцы голени, соединенные с мыщелками бедренной кости через подколенные сухожилия. Это - gastrocnemius, внутренняя и внешняя мышцы. К экстенсорам относится четырехглавая мышца - quadriceps, соединенная с голенью через коленную чашечку. Коленная чашечка скользит по мыщелкам бедренной кости и надавливает на них при сгибании колена.

На рис. 2 показаны основные связки коленного сустава. Здесь изображены крестообразные связки (cruciate ligaments) и коллатеральные связки (collateral ligaments). Крестообразные связки ограничивают движение в суставе, главным образом, в саггитальной плоскости, а коллатеральные связки ограничивают внутреннее и внешнее вращение бедра относительно голени.

Рассмотрим более подробно геометрию крестообразных связок в сагиттальной плоскости. На рис. 3 показано колено спортсмена. Видно, что крестообразные связки совместно с бедренной и большой берцовой костями

образуют четырехзвенную структуру, состоящую из отрезков AB - передняя крестообразная связка, CD - задняя крестообразная связка (ЗКС или PCL в английском варианте), CB - соединяет места прикрепления этих связок к бедренной кости, и AD - соединяет места их прикрепления к большой берцовой кости. Отрезки CB и AD жестко связаны с костями, и изменение угла между ними эквивалентно изменению угла сгибания колена.

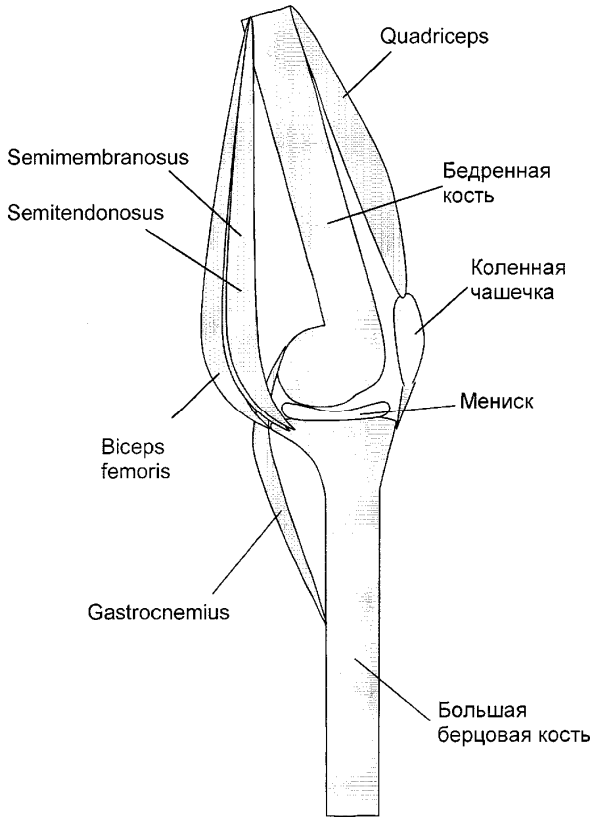

Рис. 2. Обобщенная модель коленного сустава

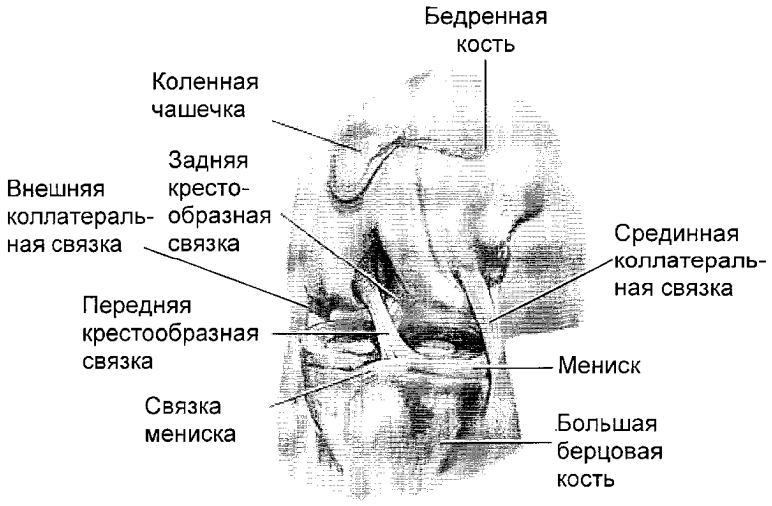

Рис. 3. Связки коленного сустава

Ушиб коленного сустава возникает в результате прямой травмы во время падений спортсменов. Наиболее часто ушибы коленного сустава встречаются у представителей игровых видов спорта и единоборств.

Контуры сустава сглажены из-за отека и кровоизлияния в параартикулярную клетчатку. Движения болезненны. Диагноз ушиба можно ставить лишь в тех случаях, когда клинически и рентгенологически исключены другие повреждения коленного сустава.

Ушиб коленного сустава часто сопровождается кровоизлиянием в полость сустава. В таких случаях движения в суставе ограниченны, болезненны, скапливается жидкость, наблюдается отчетливое баллотирование надколенника. В результате ушиба коленного сустава могут возникать травматический препателярный бурсит и травматический синовит.

Повреждение капсульно-связочного аппарата коленного сустава происходит в момент насильственного отведения или ротации голени снаружи (чаще у футболистов, борцов и регбистов при падении или применении захвата). У гимнастов и акробатов травмы возникают при нарушении техники приземления. Механизм травмы, как правило, непрямой.

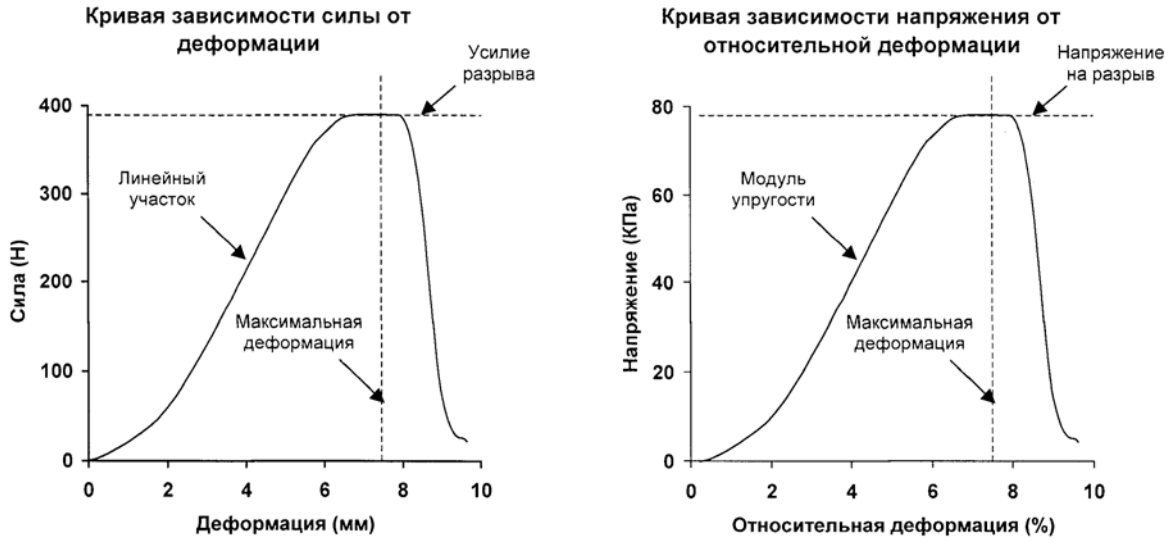

Рис. 4. Механические характеристики связок

Чаще всего у спортсменов повреждается внутренняя боковая связка, при этом происходят небольшие разрывы отдельных волокон, элементов фиброзной капсулы и синовиальной оболочки.

Механизм *разрыва внутренней боковой связки* коленного сустава такой же, как при растяжении связки. В большинстве случаев разрыв внутренней связки происходит на уровне суставной щели там, где она соединена с внутренним мениском. Одновременно может произойти и отрыв внутреннего мениска. Реже разрыв связки происходит в месте прикрепления ее к мыщелку бедра или большеберцовой кости. При разрыве внутренней боковой связки повреждаются фиброзные и синовиальные элементы капсулы коленного сустава. Все это сопровождается обширным кровоизлиянием в окружающие ткани, а также в полость коленного сустава.

Кровоизлияния внутрь сустава и в ткани вызывают увеличение объема коленного сустава и отек. Кровоизлияние в подкожную клетчатку часто распространяется до средней трети голени. Движения в суставе, как правило, резко ограниченны из-за болей. Основным клиническим признаком разрыва внутренней боковой связки является неестественное отведение голени кнаружи. При ходьбе отмечается неустойчивость коленного сустава.

Повреждение менисков коленного сустава у спортсменов встречается часто и составляет 21,4% всей патологии ОДА.

Различают паракапсулярные и транехондриальные продольные, а также поперечные, лоскутные, плоскостные и множественные разрывы мениска.

Повреждения внутреннего мениска возникают чаще, чем наружного. Механизм и причины повреждения мениска разнообразны: разрыв внутреннего мениска, как правило, происходит при ротации голени кнаружи, отведении ее и одновременном резком разгибании в коленном суставе. В этом случае отрыв мениска сопровождается блокадой сустава, т. е. смещением оторванной части хряща в межмыщелковую область. Приземление на выпрямленные ноги («жесткое» приземление) также ведет к

повреждению менисков и хряща мыщелков бедра. Несколько реже повреждение менисков происходит при форсированном глубоком приседании.

В поздние сроки после травмы, как правило, отмечаются периодические заклинивания коленного сустава (блокады), которые возникают при самых разнообразных движениях.

Повреждение передней крестообразной связки наиболее тяжелый вид травмы и встречается у спортсменов довольно часто. Механизм травмы – резкая ротация голени кнаружи при одновременном отведении голени и разгибании в коленном суставе.

Повреждение *задней крестообразной связки* (изолированное или в сочетании с повреждением передней крестообразной связки) у спортсменов встречается значительно реже. Механизм травмы чаще всего прямой – при ударе в область передней поверхности проксимального отдела голени в положении сгибания коленного сустава. Подобный механизм травмы чаще возникает у борцов вольного стиля, а также саночников и мотогонщиков.

Воздействие вибрации на ОДА во время выполнения спортивных упражнений

При выполнении спортивных упражнений имеется несоответствие возникающей при колебательном движении мощности действующей механической энергии (например, в спринтерском беге) и возможностям ОДА спортсмена выдержать это воздействие.

Подтверждением сказанному служат данные силовых воздействий в виде ускорений тела спортсменов. Так, контактные силы в голеностопном и коленном суставах могут достигать величины, превышающей в 60 раз вес тела легкоатлета, у бегунов на уровне голеностопного сустава возникают ускорения до 250–340 м/с^2. У боксеров во время удара противника голова испытывает воздействие до 250 м/с^2, с использованием защитной маски до

175 м/с^2 . футболисты при падении на землю испытывают перегрузку до 200 м/с^2 .

Эти факты подтверждаются данными травматизма у спортсменов, которые, несмотря на случайность отдельных травм, статистически значимо показывают некоторую закономерность их возникновения, а именно: действующие механические нагрузки (вибрации) во время физических упражнений превышают допустимый уровень, определяемый возможностями организма спортсменов.

При помощи средств вибродозиметрии можно производить оценку воздействия механических нагрузок на организм спортсменов, определить опасность для здоровья с позиций санитарных норм и на этой основе выбрать наиболее приемлемые режимы тренировки, чтобы свести к минимуму риск заболевания или травмы.

Максимальные уровни вибрационных воздействий лежат в области низких частот, до 2–4 Гц, однако в тренировке необходимо учитывать вредное влияние вибрации, которое зависит от частоты воздействия. При действии вибраций должны учитываться резонансные чистоты тела человека: глаза – 12–27, горло – 6–27, грудная клетка – 2–12, руки, ноги – 2–8, лицо и челюсть – 4–27, голова – 8–27 Позвоночник в поясничной области – 4–14, живот – 4–12 Гц. Отсюда реакция организма зависит от величины рассеянной в теле энергии низком частотном диапазоне. Принцип энергетического частотно-избирательного действия вибрации, при котором на некоторой частоте возбуждаются биологические структуры, увеличенная или измененная активность которых является источником всех последующих биологических и патологических процессов. Наибольших же нарушений физиологических функций следует ожидать при резонансных колебаниях тела человека, отмеченных выше. Спектральный состав вибрации при ходьбе и беге в 1/3-октавном диапазоне частот подтверждает известные теоретические и практические положения, а по его анализу можно заранее

предвидеть возможные последствия для организма спортсменов, так как в нем проявляются все основные резонансные частоты тела человека.

Различная реакция организма на одну и ту же механическую нагрузку объясняется различным спектром колебаний, а при каких-то условиях и возникновением явления резонанса тела и его частей.

Для высококвалифицированных спортсменов характерна лучшая способность организма к демпфированию возникающих механических нагрузок, при этом коэффициент передачи от стопы к голове пропорционально уменьшается: 1,0; 0,15; 0,11. Коэффициент передачи виброускорений в сегментах тела юных спортсменов имеет более высокий уровень: 1,0; 0,8; 0,53. При этом возрастает общая механическая нагрузка, а уровень вибрации головы ребенка при беге с максимальной скоростью выше, чем у взрослого, что объясняется разной координационной способностью, межмышечной и внутримышечной согласованностью ОДА испытуемых, которая у разрядника значительно выше, чем у новичка.

Тренерам и спортсменам необходимо учитывать отмеченные выше особенности, так как при одном и том же упражнении механические нагрузки для сегментов тела имеют различный уровень, в соответствии с которым необходимо проводить нормирование возникающих вибраций в спортивных упражнениях.

При продолжении тренировок на фоне экстремального кумулятивного эффекта механических нагрузок возможно достижение пессимального уровня, связанного с острой травмой спортсмена.

Концепция механизма возникновения спортивной травмы основана на стадиях течения вибрационной болезни человека. Однако данные положения требуют дальнейшего изучения и могут быть использованы при профилактике травм, возникающих в спортивных упражнениях, где наблюдаются большие объемы механических нагрузок, превышающих допустимый уровень вибрационных воздействий.

По временной длительности тренировки спортсменов сопоставимы с производственными или больше них. Для достижения высших результатов занятия спортсменов продолжаются по 2-4 раза в день, и за год их объем увеличивается до гигантских размеров. Легкоатлеты-бегуны пробегают в год до 7500 км (около 21 км в день без учета отдыха), что составляет до 5-7 часов ежедневных занятий.

По суммарным физическим усилиям. При пробеге марафонской дистанции (42 195 м) спортсмен, имеющий вес 70 кг, совершает в среднем около 2500 шагов, где на каждом шаге возникает реакция опоры до 1800-2000 Н. Общее воздействие механических нагрузок на организм за время бега может составлять около 4500 кН.

Тяжелоатлеты-новички за месяц делают около 1100-1300 подъемов штанги (около 100-150 тонн), у мастеров спорта число подъемов штанги возрастает до 1900-2700 (до 200 т и более) в месяц. Такая работа в условиях производства считается очень тяжелой и не сопоставима с производственными нормами труда.

При анализе высочайших результатов спортсменов основное беспокойство вызывает некоторое несоответствие возникающей при колебательном движении мощности действующей механической энергии (к примеру, в спринтерском беге) и возможностей человека выдержать это воздействие. Подтверждением сказанному служат данные величин силовых воздействий в виде ускорений тела спортсменов. Так, контактные силы в голеностопном и коленном суставах могут в 60 раз превышать вес тела спортсмена-легкоатлета, у бегунов на уровне голеностопного сустава возникают ускорения до 25-35 g, у боксеров во время удара противника голова испытывает перегрузку до 25 g, а с использованием защитного шлема - до 18 g. У футболистов при падении возникает перегрузка до 20 g. Для сравнения: у летчиков в полете или при тренировке на центрифуге во время воздействующих перегрузок величиной до 4-5 g наблюдается расстройство и

нарушение зрения, при перегрузках около 5 g и выше у пилотов наступает потеря зрения и сознания. Это подтверждают данные травматизма у спортсменов, которые статистически указывают на некоторую закономерность его возникновения, а именно: действующие механические нагрузки (вибрация) во время физических упражнений превышают допустимый уровень, определяемый возможностями организма спортсмена.

В многолетнем эксперименте были проведены системные исследования спортсменов по оценке вибрации при различных упражнениях на основе государственных санитарных норм СН № 3041-84 и СН № 3044-84 и ГОСТ 12.1.012-90, где за нормированный показатель бралась интегральная оценка среднеквадратичного значения ускорения различных сегментов тела человека.

Учитывая, что выполнение спортивных упражнений состоит из дискретных отрезков работы и отдыха, нормирование возникающих вибраций производится на основе дозы вибрационного воздействия по ГОСТ 12.1.012-90.

Результаты исследований доказали, что многократно повторяемые спортсменом упражнения - есть процесс воздействия вибрации на человека. Обнаружилось, что суммарные дозы вибрационных воздействий в процессе тренировок у начинающих спортсменов младших разрядов превышают производственные нормы по ГОСТ 12.1.012-90 в 5-10 раз и более. У спортсменов старших и высших разрядов только в одной тренировке уровень вибрационных воздействий превышает производственный в 100-200 и более раз. По расчетам на основе производственных санитарных норм полученной спортсменом дозы вибрационных воздействий необходим полноценный отдых в течение 2-3 дней, а иногда до 5-6 дней. Как правило, после больших нагрузок спортсмены продолжали тренировку, особенно в период подготовки к соревнованиям.

В разработанной концепции механизма возникновения спортивной травмы указывается, что в основе спортивной травмы лежит кумуляция (суммация) вибрационных воздействий, превышающих допустимые нормы по ГОСТ 12.1.012-90. При целевом устремлении тренеров и спортсменов (особенно на начальном этапе) к большим объемам и интенсивности, к быстрому достижению высокого результата возникновение спортивной травмы есть закономерный процесс.

Чем раньше начинается воздействие высоких тренировочных нагрузок, тем быстрее истощается организм человека, что можно оценить по суммарным величинам двигательных актов человека.

Подтверждением сказанному служит статистика спортивного травматизма, которая из года в год не уменьшается а, наоборот, увеличивается.

Регистрация ускорений обычно осуществляется тремя трехкомпонентными акселерометрами, которые крепятся в области височной кости на боксерском защитном шлеме, на плече, лучезапястном суставе, на поясе в области крестца, на бедре в области коленного сустава, на голени в области голеностопного сустава.

Регистрация ускорений фиксированных точек тела спортсменов проводится путем видеосъемки скоростными видеокамерами с частотой съемки не менее 700–800 кадров/с. Камеры должны быть снабжены отметчиками времени с шагом 0,01 с,

Для анализа механических нагрузок при ходьбе и беге легкоатлетов используется вибрационный параметр – эквивалентное среднее квадратичное значение ускорения фиксированных точек тела спортсменов, по которому можно судить о мощности колебательного процесса и степени воздействия механической энергии на организм.

Одновременно с повышением частоты движений возрастает и уровень вибрации в различных сегментах тела спортсменов. Например, для

испытуемых 10–11 лет (30 чел.) уровень механических нагрузок при частоте движений 2 Гц в области голеностопного сустава составил в среднем 1,07+0,93, общего центра тяжести – 0,88+0,54, головы – 0,79+0,30 м/с2.' С увеличением частоты движений до 3 Гц вибрационное воздействие повышается соответственно: 1,41 + +0,82; 1,36+0,99; 1,28+0,94 м/с2. При максимальной частоте движений также пропорционально растет и механическая нагрузка: 1,54+ +0,88; 1,64+1,14; 1,92+1,48 м/с2 (р=0,05).

Аналогичные изменения механических нагрузок (виброускорений) в фиксированных сегментах тела наблюдаются у взрослых спортсменов-разрядников. При частоте движений 2 Гц уровень виброускорений составил: 3,35+0,77 (голеностоп); 0,92+0,13 (о.ц.т.); 0,54+0,14 м/с^2 (голова). При частоте ходьбы 3 Гц соответственно: 5,44+1,01; 1,47+0,32; 0,74+0,10 м/с^2. При максимальной частоте движений: 7,70+2,09; 3,58+1 14 2,41+0,90 м/с$^{2.}$

Для уточнения воздействия уровней ускорения на различные части тела рассчитывается коэффициент передачи, т. е. отношение амплитуды сигнала на «выходе» (например, голове) к амплитуде сигнала на «входе» (стопе).

Чем выше частота движений, тем больше уровень виброускорений (механически» нагрузок) для организма, характеризующих мощность колебательного процесса и воздействуют на тело механической энергии.

Для перворазрядника при повышении частоты движений в беге от 3 Гц до максимального темпа характерно демпфирование возникающих механических нагрузок в сегментах тела спортсмена, которые уменьшаются от стопе к голове. У спортсмена-новичка демпфирование вибрационных воздействий не происходит, а механические нагрузки в сегментах тела не только не уменьшаются, но даже и увеличиваются.

Отмеченные изменения объясняются координационными возможностями занимающихся, которые у юных и малоквалифицированных спортсменов ниже, чем у более опытных. Все это сказывается на динамике

коэффициентов передачи, которые у новичков пропорционально возрастают, повышая тем самым механическую нагрузку па голову.

При повышении частоты движений, возникающие вибрации на уровне головы выше, чем на о.ц.т. и голеностопном суставе, что объясняется низким уровнем координационных способностей юных спортсменов.

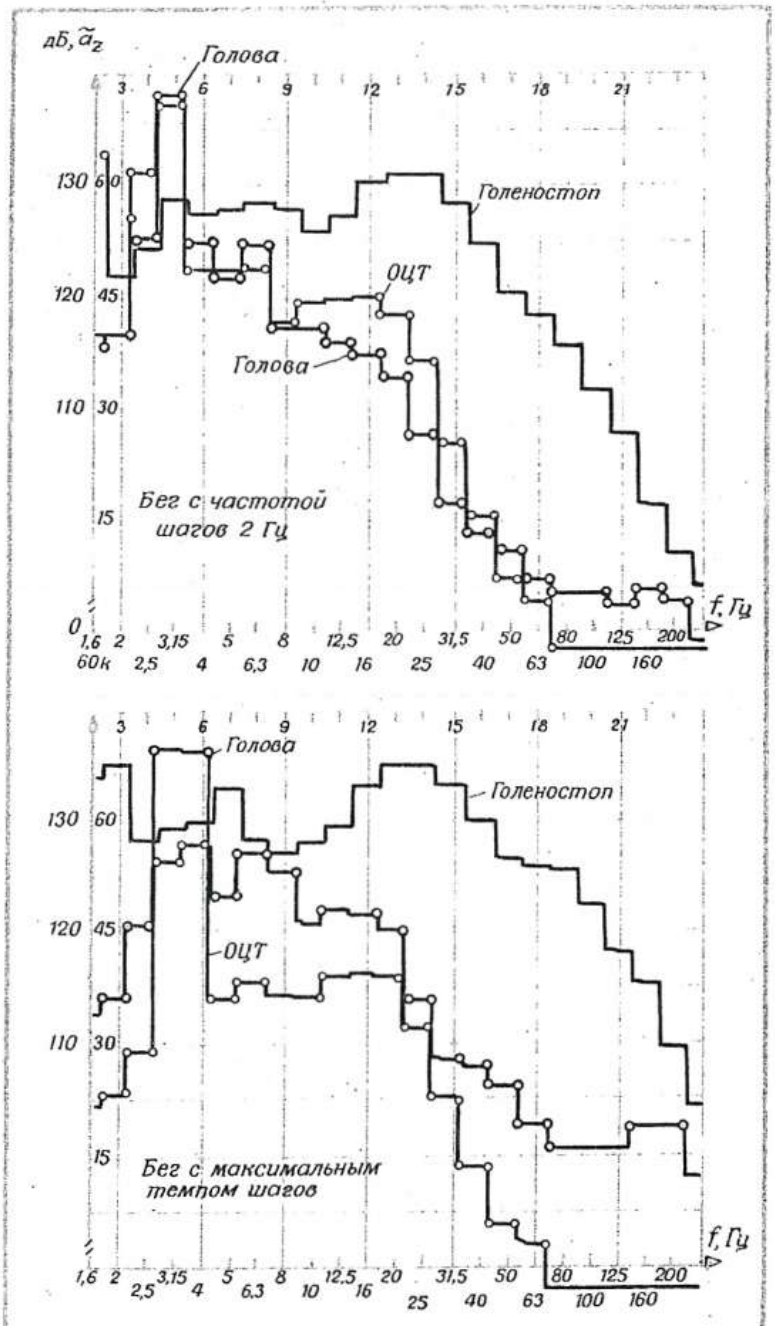

Рис. 5. Спектральные характеристики вибраций (a_2, дБ) головы, общего центра тяжести (о. ц. т.), голеностопного сустава при беге на месте с различной частотой шагов спортсмена

Проведенные исследования показали возможность оптимизации возникающих вибраций в спортивных упражнениях по ГОСТ 12.1.012–90. 9

Для тренировки была составлена и исследована программа бега для мастера спорта П. четыре отрезка по 100 м с перерывами между отрезками 10 мин и после последнего отрезка бега – 10 мин. Общая продолжительность данного фрагмента тренировки составила 25,8 мин, включая около 48 с суммарного времени бега. Наибольшее значение виброускорения зарегистрировано на уровне голеностопного сустава и составляло 76,1 – 70,3 м/с^2. По формуле рассчитаем дозу вибрационного воздействия, а по ней эквивалентное виброускорение: $a_{экв}$=6,8 м/с^2. Данный уровень вибрации согласно ГОСТ 12.1.012–90 допускает предельное время воздействия около 1,7 мин,, что согласуется с реальным временем бега в четырех отрезках. Иными словами, допустимые нормы вибрации для человека в условиях производства адекватны и соотносимы при оптимизации механических нагрузок в спортивных упражнениях.

Другой пример регулирования механических нагрузок (при локальных вибрациях) можно принести на боксерах при ударах в максимальном темпе по настенной подушке.

Результаты измерений виброускорений на уровне лучезапястного сустава у мастера спорта В. (73 кг, 21 год) были следующие: первый раунд – 58,6; второй раунд – 57,9; третий раунд– 56,3 м/с2. Время раунда 3 мин, перерыв между раундами – 1 мин.

Определим дозу вибрации, а по ней одночисловую оценку эквивалентного виброускорения, что составит $a_{экв}$=52,1 м/с^2. При таких значениях ускорений боксер может тренироваться согласно ГОСТу не более 42 с, хотя реальная тренировка продолжалась 9 мин.

Подобная модель тренировки встречается крайне редко, так как утомительна для боксера и не используется в реальном бою на ринге. На практике с целью совершенствования (например, быстроты) раунд боя разбивают на дискретные отрезки времени работы с периодами отдыха. В данном примере по новой программе боксер выполнял интервальную работу (удары

по снаряду) с максимальной частотой в течение 6 с, а затем отдыхал 14 с. После каждого раунда следовал минутный перерыв. Таким образом, спортсмен работал 10 раундов, чтобы суммарное время составило 540 с (три раунда боя). В таких условиях работы уровень виброускорений колебался от 44,3 до 48,6 м/с^2, при этом аэкв=22,3 м/с^2, что позволяло по нормам вибрационной нагрузки увеличить продолжительность упражнения до 3,9 мин. Если же сократить отрезок работы до 3 с, то эквивалентное виброускорение уменьшится до 14,6 м/с^2, а допустимая продолжительность упражнения будет соответствовать реальному времени – 9 мин (здесь учитывается при расчетах и время отдыха 6 мин после всех раундов).

Данные примеры доказывают адекватность и возможность оптимизации механических нагрузок (вибрации), в спортивных упражнениях по нормам, установленным стандартами безопасности труда. Теоретические и практические основы метода упражнений дополняются новыми положениями о необходимости оптимизации вибраций, возникающих при движениях спортсмена. Реальный тренировочный процесс находится в полном соответствии с установленными нормами вибрационной нагрузки и обеспечивает оздоровительную направленность физических упражнений для человека.

Регистрация виброускорений в фиксированных точках тела спортсмена отражает мощность колебательного процесса, при этом взаимоотношение «мощность – виброускорение» имеет квадратичную зависимость.

Величина воздействующей энергии и мощность колебаний являются первопричиной функциональных изменений в организме.

При оценке механических нагрузок тренеры и спортсмены должны учитывать не только энергетическую значимость, мощность выполняемых упражнений, но и центральнонервные сдвиги, которые косвенно определяют по величине механических возмущений вестибулярной сенсорной системы.

При обобщении результатов исследований для процесса обучения и тренировки было сформулировано методическое положение: учет кумулятивного эффекта механических нагрузок при возмущении вестибулярной сенсорной системы спортсмена.

Определение дозы вибрации для организма спортсменов показывает возможность и механизм суммации (кумуляции) механических нагрузок, что необходимо прежде всего для оценки и предупреждения риска возникновения спортивного травматизма. Чем больше величина воздействующих виброускорений, тем больше суммарная величина дозы вибрации за какой-то определенный отрезок времени. Вибродозиметрия направлена на то, чтобы дать количественную оценку эффекта действия механических нагрузок на организм человека, при этом допускается корректная суммация возникающих воздействий, а по эквивалентному корректированному виброускорению оценивается возможный кумулятивный эффект спортивных упражнений.

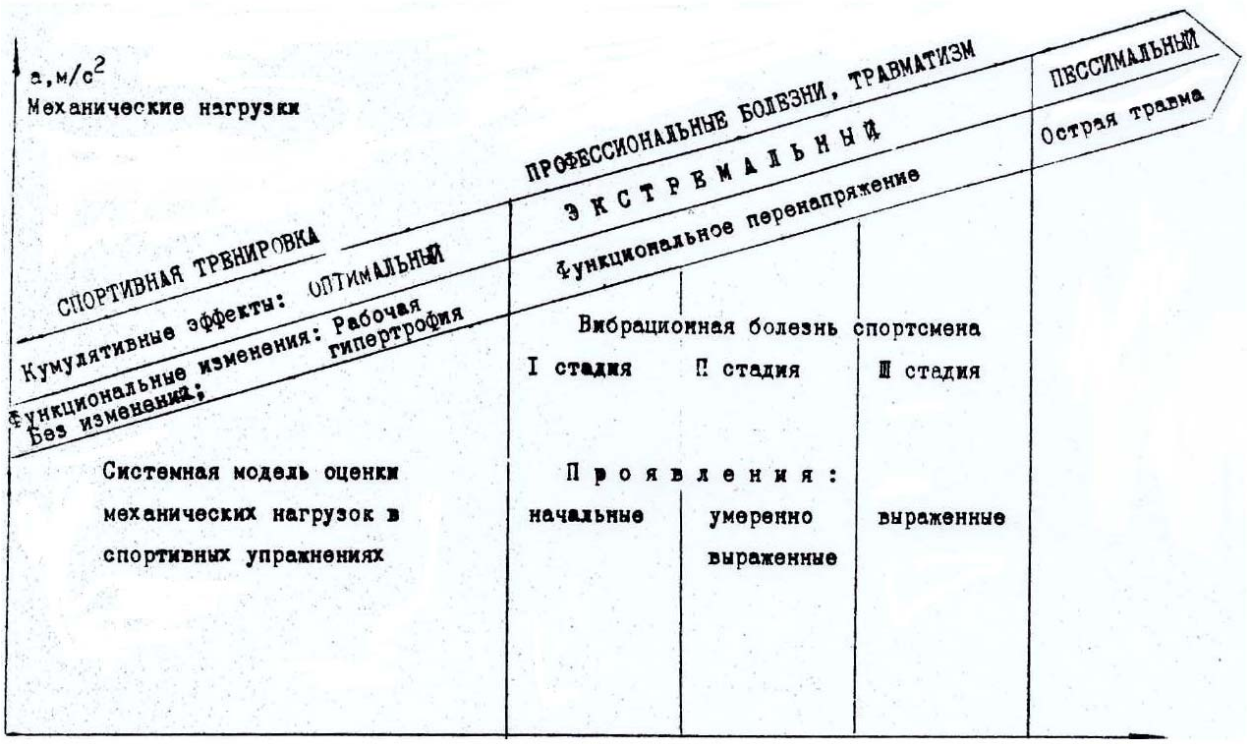

Рис.6. Схема возникновения кумулятивного эффекта в спортивных упражнениях

Как показали исследования в различных видах спорта, при действии виброускорений в спортивных упражнениях возникает кумулятивный эффект, который может быть оптимальным, экстремальным и в редких случаях – пессимальным (например, острая травма, нокаут в боксе и т. п.).

Если уровень эквивалентных виброускорений не выходит за пределы допустимых санитарных норм по ГОСТ 12.1.012–90, то кумулятивный эффект таких механических нагрузок будет оптимальным для спортсмена. Выход механических воздействий за границы норм и допусков может привести к экстремальному кумулятивному эффекту и увеличить риск возникновения спортивного травматизма.

Воздействие динамических ускорений и ударных нагрузок

Спортивные упражнения изучены с позиций динамических ускорений на организм человека. Так, контактные силы в голеностопном и коленном суставах могут достигать величины, превышающей в 60 раз вес тела легкоатлета, у бегунов на уровне голеностопного сустава возникают ускорения до 250–340 м/с.

Действие ударного ускорения на тело вызывает его перегрузку (ударную), показывающую, во сколько раз увеличивается масса тела при данном ускорении по сравнению с земной гравитацией. Количественно перегрузка и ускорение выражаются, как правило, в величинах, кратных ускорению свободного падения.

Передаваемая на тело человека о время спортивных упражнений ударная перегрузка описывается рядом исходных и производных параметров, среди которых основными являются: максимальная величина, время действия, скорость нарастания, потерянная при ударе скорость.

Скорость нарастания перегрузки n определяется как производная величина по времени.

Потерянная при ударе скорость представляет собой площадь под диаграммой (интеграл перегрузки) и отражает для идеальных условий скорость движения к началу ударного процесса при приземлении или скорость к концу действия перегрузки. В реальных условиях существует прирост скорости за счет упругой реакции (отскока) грунта.

Помимо амплитудно-временных, оцениваются амплитудно-частотные характеристики перегрузки, называемые ее спектром. Спектр представляет собой совокупность амплитуд разных частот как функцию энергетического вклада каждой частоты в импульс ударной перегрузки. Спектральный анализ имеет существенное значение для разработки энергопоглощающих устройств, эффективность защитного действия которых связана со снижением энергии на частотах, свойственных телу человека или его отдельных анатомических образований как механических подсистем.

Необходимость учета представленных амплитудно-временных параметров перегрузки вызвана значимостью каждого из них в величине силового воздействия на тело человека. В упрощенной форме эта значимость может быть рассмотрена на механическом аналоге тела, представленном массой m, упругой (коэффициент жесткости K) и демпфирующей (коэффициент демпфирования, C) связью, имитирующей механические свойства тел или иных анатомических структур.

Коэффициент жесткости характеризует способность структур сопротивляться деформации при приложении силы и имеет размерность кгс/м.

Коэффициент демпфирования обусловлен вязким трением в тканях и характеризуется соотношением усилия и скоростью смещения массы – кгс с/м.

Воздействующая ударная перегрузка n, проходя через упруго-демпфирующую связь и трансформируясь с ее характеристиками,

обеспечивает строго определенную перегрузку массы, что в результате и определяет усилие, развиваемое в этой связи в тканях).

Результирующее усилие вызывает деформацию тканей (сжатие пружины) и связанное с ней их напряжение. В случае превышения величин деформации и напряжения ткани, соответствующих ее пределу прочности, возникают травматические повреждения, которые в зависимости от вида тканей могут проявляться в кровоизлияниях, разрывах, переломах. Понятно, что для разных анатомических структур величины повреждающего напряжения и деформации могут существенно различаться. Следовательно, можно говорить о критических системах организма, ранние повреждения которых свойственны определенному направлению действия перегрузки.

Прирост скорости нарастания увеличивает травмоопасность ударной перегрузки, однако значение этого параметра уменьшается с возрастанием демпфирующих свойств системы.

Для исследовании механических свойств позвоночного столба при оценке ударных воздействий на позвоночник разработана *DRI* модель (Dynamic Response Index - индекс динамической реакции или модель «Пэйна»). В данной математической модели впервые применены численные методы для исследования повреждения позвоночного столба при стрессовых нагрузках. Индекс динамической реакции (DRI) является критерием переносимости продольных ударных нагрузок на позвоночный столб. Вязко-упругие силы сопротивления этому перемещению характеризуются коэффициентом жесткости «с» и диссипации. Индекс динамической реакции рассчитывается по формуле

$$DRI = \omega^2 X_{max}/g,$$

где ω — частота колебаний, g—ускорение свободного падения.

Параметр *DRI* применяют для оценки вероятности повреждения позвоночника при мгновенных вертикальных нагрузках и ударных перегрузках. Полученные на испытательных стендах (падение металлической

платформы на вертикально стоящие биоманекены) экспериментальные данные доказали, что чаще всего травме подвержены позвонки нижнегрудного и поясничного отделов (Th_{11} — L_3) позвоночника.

Минимальное значение травмирующей перегрузки определяется массой тела человека и несущей способностью позвонков, зависящей от возраста человека, который определяет плотность структуры (минеральную насыщенность) тела позвонка, площадь (ширину) концевой пластинки позвонка, а также выраженность талии тела позвонка. Минеральная насыщенность тел позвонков и плотность их структурной организации обуславливают характеристики динамической прочности, деформируемости, жесткости и демпфирования. На этой модели авторы впервые выявили биомеханические критерии повреждения позвоночника при высокоэнергетических травмах с ускорением.

Все травмы позвоночника можно разделить на два основных вида - переломы с травмой спинного мозга и переломы без травм спинного мозга. Наличие повреждения спинного мозга на любом уровне резко утяжеляет состояние пострадавшего (вплоть до летального исхода) и усложняет последующее лечение. Переломы в шейном отделе встречаются часто и с наиболее тяжелыми последствиями, менее часто в грудном и поясничном и редко в крестцовом отделах. В шейном отделе помимо переломов нередко возникают вывихи и подвывихи. При вывихе или переломе может произойти резкое смещение вышележащего отдела позвоночника, и спинной мозг повреждается на уровне травмы костей. При этом мозг может быть совсем раздавлен или размят. Но чаще всего происходит лишь частичное смещение позвонков, которое также приводит к болезненным последствиям и даже потере двигательных функций пострадавшим.

В течение тренировочного процесса в соответствии с морфологической направленностью укрепляется связочный аппарат, создается мышечный корсет; но отсутствие достоверных сведений о характере и величинах

травмирующих нагрузок затрудняет возможность целенаправленного укрепления соответствующих отделов ОДА. Проведение эксперимента с целью получений значений предельно допустимых нагрузок, естественно, невозможно. Наиболее приемлемый способ, дающий удовлетворительный результат, – это математическое моделирование повреждающего насилия.

В данной работе позвоночник представлен в виде эластичного стержня, обладающего определенной механической прочностью и, упругостью. Такая модель может быть рассмотрена в соответствии с законами механики и сопротивления материалов.

Нередкий случай в практике спортивной борьбы – травмирование шейного отдела позвоночника. Это происходит, например, при некоординированном падении на голову при выполнении бросков из стойки на мост. Возникающие сгибательное и компрессионное усилия в этом случае порой превосходят возможность физиологической подвижности шейного отдела позвоночника, и как результат – возникновение одной из вышеперечисленных травм.

Учитывая, что выполнение упражнений состоит из дискретных отрезков работы и отдыха, нормирование возникающих вибраций проводится на основе дозы вибрационного воздействия. Введение дозы и интегральной оценки по частоте нормируемого параметра позволяет существенно упростить контроль вибрации. Вибродозиметрия в настоящее время широко апробирована на материале исследований лаборатории измерения шума и вибрации на результатах исследований спортсменов.

Доза вибрации, воздействующей на организм, согласно ГОСТ 12.1.012–90 определяется по формуле:

$$D_a = \tilde{a}_1^2 t_1 + \tilde{a}_2^2 t_2 + \ldots + \tilde{a}_n^2 t_n$$

где

D_a - доза вибрации по виброускорению,

a - виброускорение конкретной точки тела,

t, мин - период времени, за который измерялось виброускорение.

Для того чтобы полученную дозу сравнить с гигиеническими нормами, необходимо вычислить эквивалентный вибрационный параметр:

$$a_{экв} = (D / T)^{\frac{1}{2}}$$

D – доза, накопленная за время действия вибрации – ***T,*** которое необходимо дополнительно регистрировать.

В целях учета чувствительности человека к колебаниям различной частоты используют корректированное значение виброускорения по формуле:

$$\overline{a} = \left(\sum_{i=1}^{n} \tilde{a}_i^2 K_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

где $\tilde{a}_i$ - виброускорение в i-й частотной полосе, n – число частотных полос в нормируемом частотном диапазоне, K_i – весовой коэффициент для i-й частотной полосы, который имеет разные значения по специальной таблице, приведенной в стандартах безопасности труда ГОСТ 12.1.012–90

Полученные эквивалентные корректированные значения виброускорений сравнивают с гигиеническими нормами, которые могут иметь одночисловую величину и составляют для общей.вибрации Y_0= 0,4; Z_0=0,56, для локальной вибрации – 2,0 м/с^2. Приведенные нормы виброускорений учитываются для восьмичасового воздействия в течении которого данный уровень вибрации безопасен для здоровья человека. В случае, когда вибрационное воздействие превышает предельно допустимое значение, применяется следующая формула вычислений:

$$U = U_{480} \sqrt{480 / t}$$

где U_{480} - предельно допустимое значение виброускорения в течение 480 мин рабочего дня, t, мин время, в течение которого происходит механическое воздействие, U – предельно допустимое значение виброускорения за время t.

Вибрационные модели спортивных упражнений показывают, что совершенствование спортивного мастерства и возникновение спортивного травматизма есть две стороны одного процесса, где, с одной стороны, механические нагрузки служат эффективным средством тренировки, а с другой – возникающие вибрации могут оказывать вредное воздействие.

Расчеты дозы вибрации, эквивалентных виброускорений позволяют в каждом конкретном случае оптимизировать механические нагрузки при повышении эффективности тренировочного процесса.

Результаты исследований в виде индивидуальных топограмм механических воздействий (виброускорений) в наглядном виде могут использоваться в качестве средств контроля механических нагрузок . Возникающие уровни виброускорений, отраженные на индивидуальной топограмме (графической карте сегментов тела), показывают те точки, где происходит наибольшее или меньшее механическое воздействие. Чем больше ускорение, тем большую работу (мощность) выполняет данный сегмент тел» спортсмена. По уровням виброускорений, отраженных на индивидуальной топограмме, можно планировать и программировать механические нагрузки (например, снижать или повышать и том или ином суставе), суммировать возникающие воздействия, вести их строгий контроль, и на этом основании наряду с повышением эффективности тренировки проводить профилактику травматизма ОДА спортсмена.

Разработана системная модель оценки механических нагрузок в спортивных упражнениях, представленная на рис. 7.

Существенное отличие предлагаемой модели от уже известных – наличие этапа первичной или предварительной оценки нагрузок. Для того, чтобы эффективно управлять тренировочной нагрузкой, необходимо заранее, на начальном этапе оценить ее индивидуальные параметры на типовых моделях движений, которые представлены как процесс воздействия вибрации на органом спортсмена. При последовательной реализации уровней 1–4 (см.

рис. 7) определяется функциональное состояние ОДА (координация движений) установленных индивидуальных значений предельно допустимых механических нагрузок в фиксированных точках тела, составление индивидуальной топограммы механических нагрузок с выделением зон оптимальных и экстремальных воздействий и, наконец, определение индивидуальной программы двигательных действий.

Данный блок связан с моделью непосредственной оценки воздействия механических нагрузок в спортивных упражнениях, где выделены следующие группы модельных характеристик: механических нагрузок при занятиях ЛФК и оздоровительными формами массовой физической культуры, при занятиях начинающих спортсменом и имеющих массовые спортивные разряды, а также при тренировках, направленных на достижение высоких спортивных результатов.

Проведенные исследования показывают, что целесообразнее при классификации данных групп использовать конечные цели занятий физическими упражнениями, а на их основании устанавливать допустимые уровни вибрации (механических нагрузок) для спортсменов.

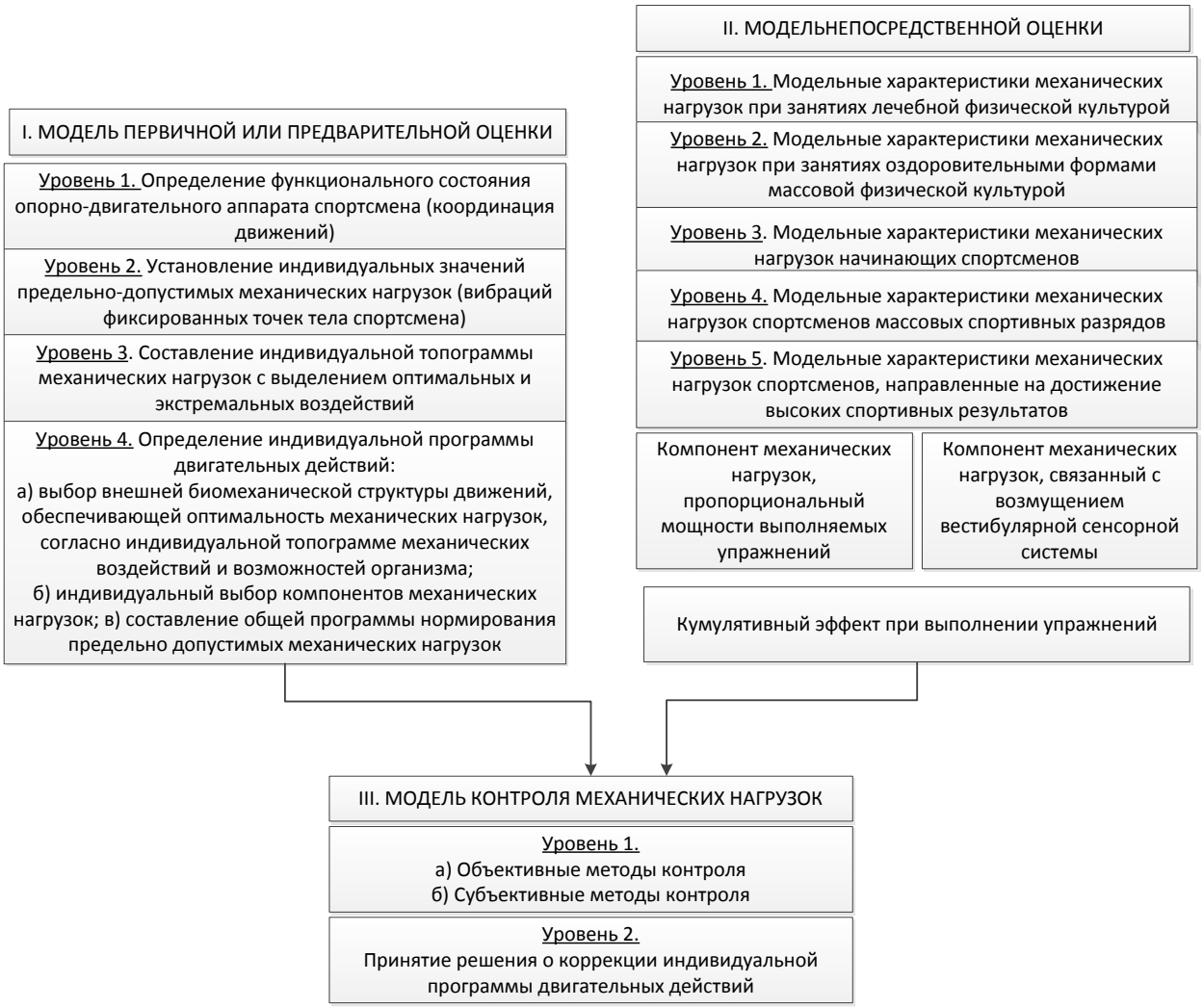

Рис. 7. Системная модель оценки механических нагрузок в спортивных упражнениях

С помощью предлагаемой модели оценки механических нагрузок можно более полно охватывать все процессы тренировки, учитывать индивидуальные особенности организма, на начальном этапе осуществлять отбор занимающихся, оптимизируя для каждого индивидуума уровень механической нагрузки, проводя при этом профилактику и предотвращая травматизм занимающихся.

Полученные дозы воздействующей вибрации показывают процесс суммации механических нагрузок до возникновения кумулятивного эффекта, который может быть оптимальным, экстремальным и максимальным, что отражено на общей схеме возникновения кумулятивного эффекта в спортивных упражнениях (рис. 7). При использовании системной модели

оценки механических нагрузок достигается оптимальный кумулятивный эффект. Нарушение целостности модели и выход за пределы допустимых уровней вибрации в спортивных упражнениях создают условия для перенапряжения функций организма и могут вызвать экстремальный кумулятивный эффект. При этом у спортсменов проявляются признаки вибрационной болезни.

На представленной схеме механизма возникновения спортивной травмы (рис. 8) выделены два основных направления, связанных, во-первых, с выполнением чрезмерных объемов и мощностью выполняемых упражнений; и, во-вторых, с использованием механических нагрузок при возмущении вестибулярной сенсорной системы. Механические нагрузки, превышающие допустимый уровень, суммируются по правилу установления дозы вибрации, что приводит к экстремальному кумулятивному эффекту.

При анализе и обобщении собственных и литературных данных рассмотрим некоторые объяснения проявлений вибрационной болезни спортсмена.

Длительное чрезмерное воздействие механических нагрузок (вибрации) в спортивных упражнениях затрагивает изменения почти во всех тканях и может рассматриваться как специфический раздражитель вибрационного анализатора. центральное место в объяснении возникающих спортивных травм занимает нарушение центральнонервных реакций вследствие воздействия механических нагрузок при возмущении вестибулярной сенсорной системы спортсменов. Последнее приводит к повышенному возбуждению корковых, спинно-мозговых, таламических центров вибрационной чувствительности, которое иррадиирует на соседние области, изменяя функциональное состояние периферических сосудов спортсменов. Одновременно изменяется деятельность центров болевой, тактильной, вестибулярной и других сенсорных систем, при этом нарушается их рецепторная чувствительность, отклоняются от нормы биохимические процессы в мышцах и других тканях спортсменов, происходят сдвиги в функ-

ции внутренних органов, наблюдаются нарушения иммунитета. Изменения в центральной нервной сфере приводят к периферическим функциональным отклонениям в коже, мышцах, суставах, костях, что отрицательно сказывается на микроциркуляции, кровоснабжении, уровне кислорода в тканях.

Необходимо подчеркнуть информативность анализа сосудистых изменений, являющихся предвестником возможных спортивных травм, что подобно признакам I стадии вибрационной болезни человека.

Рис. 8. Схема механизма возникновения спортивной травмы

Первичные изменения трансформируются в умеренно выраженные (II стадия) и приводят к появлению видимых травм, что регистрирует спортивная медицина. Нарушения микроциркуляции сказываются на трофических процессах, обмене веществ в тканях организма спортсменов. Временно появляющиеся функциональные изменения переходят в стойкие вегетативно-трофические и центрально-нервные нарушения, вызывая дистрофические изменения в мышцах, костях, тканях, При этом возникают зарегистрированные у спортсменов миалгия, миофиброз, периостит, экзостоз и т. д.

Одновременно воздействие механических нагрузок, связанных с возмущением вестибулярной сенсорной системы, приводит к дальнейшему изменению функций центральной нервной системы. На данном этапе продолжает уменьшаться болевая, тактильная, температурная и другая чувствительность, что может вызвать снижение защитных барьеров в организме, при которых спортсмен не будет ощущать ту грань механических воздействий, за которой наступает острая травма.

Дальнейшее использование чрезмерных механических нагрузок (вибрации) будет способствовать тому, что умеренно выраженные проявления будут переходить в выраженные признаки (III стадия), приводя к увеличению экстремального кумулятивного эффекта, обусловливая перенапряжение функций организма спортсмена.

Моделирование коленного сустава

Такие модели, подкрепленные достаточным экспериментальным материалом, необходимы для изучения движения коленного сустава в целом, например, для изучения активации мышц антагонистов, участвующих в сгибании и разгибании колена, или для исследования влияния сокращения мышц на динамические свойства сустава

Предложена трехцилиндрическая модель коленного сустава, учитывающая, как вращение так и линейное перемещение в любом из трех возможных направлений, т.е. все шесть степеней свободы. Она заключается в том, что соединение бедренной кости с большой берцовой представляется в виде трех ортогональных цилиндрических шарниров (рис. 9). Такая кинематическая модель и связанная с ней система координат оказалась достаточно общей и очень удобной и по сей день используется для описания положения коленного сустава, как в биомеханике, так и в медицине.

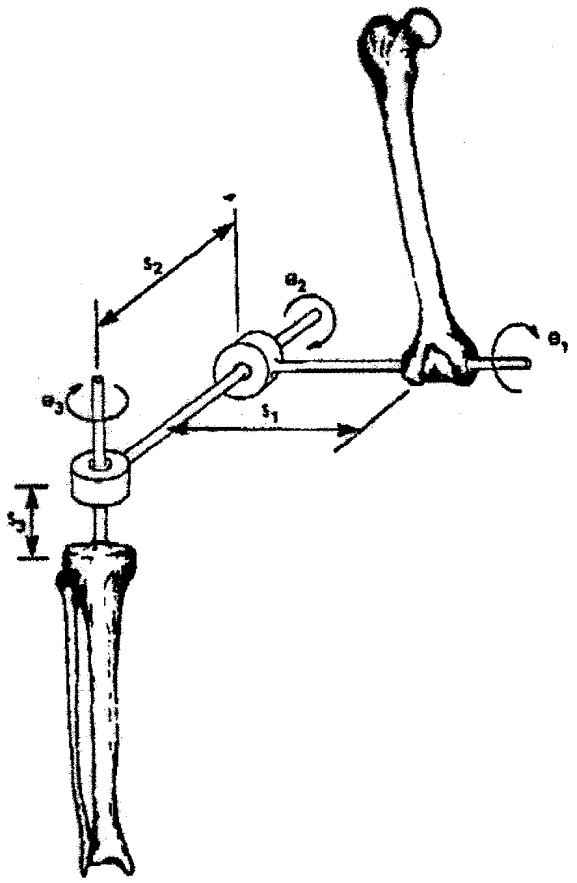

Рис.9. Трехцилиндрическая модель коленного сустава

Разработана трехмерная модель коленного сустава. Связки сустава моделировались семью нелинейными пружинами, а трехмерная геометрия контактных поверхностей описывалась полиномами. Модель позволяет сгибать колено от 0 до 100 градусов и снимать кривые напряжений в зависимости от приложенных к бедренной кости внешних сил и моментов. Модель апробировалась путем сравнения результатов моделирования с опубликованными экспериментальными данными.

В последнее время работы в области моделирования коленного сустава ведутся в следующих направлениях:

- Экспериментальные работы с целью измерения нагрузок на отдельные связки в процессе различных травмоопасных движений.
- Построение обобщенных компьютерных моделей человека с целью изучения травмоопасных движений.

- Построение конечно-элементных моделей отдельных связок, например передней крестообразной, и изучение ее прочности в процессе простых движений.

С помощью программного продукта ADAMS был разработан трехмерный механический имитатор коленного сустава. По сравнению с описанными выше аналогами он более реалистичен, поскольку учитывает наличие менисков, всех групп мышц, участвующих в сгибании и разгибании ноги, всех основных связок, а также трение между контактными поверхностями.

Данная модель включает в себя бедренную кость, берцовые кости, коленную чашечку и мениски, взаимодействующие между собой. Внешний и внутренний мениски расположены на верхней поверхности большой берцовой кости и свободно скользят по ней. Это скольжение лимитируется внутренней коллатеральной связкой и другими связками менисков. Каждый мыщелок бедренной кости моделировался двумя соединенными шарами. Передние шары каждого мыщелка находились в контакте с коленной чашечкой, а задние шары образуют контактную поверхность мыщелков и менисков. Эти последние шары контактируют с элементами больших сфер, образующих верхние поверхности соответствующих менисков. Расчет контактных сил основан на механических свойствах взаимодействия твердых тел, включая жесткость и демпфирование. Внутренний и внешний мениски обладают различной кривизной верхней поверхности. Кроме того, мыщелки бедренной кости тоже немного различаются. Таким образом, обеспечивается вращение в шарнире вокруг вертикальной оси при сгибании и разгибании колена. Связки и сухожилия заменялись нелинейными пружинными элементами. Зависимости силы от деформации для них были получены на основе реальных механических характеристик человеческих тканей. Мышцы также заменялись пружинными элементами, снабженными демпферами.

Усилие четырехглавой мышцы через коленную чашечку компенсировало вертикальную нагрузку.

Модель коленного сустава является системой шарнирно-соединенных твердых тел. Сама модель состоит из шести тел: бедренной кости, большой берцовой кости, малой берцовой кости, двух менисков и коленной чашечки.

В результате моделирования могут быть получены кривые зависимости натяжения крестообразных связок от времени (рис. 10).

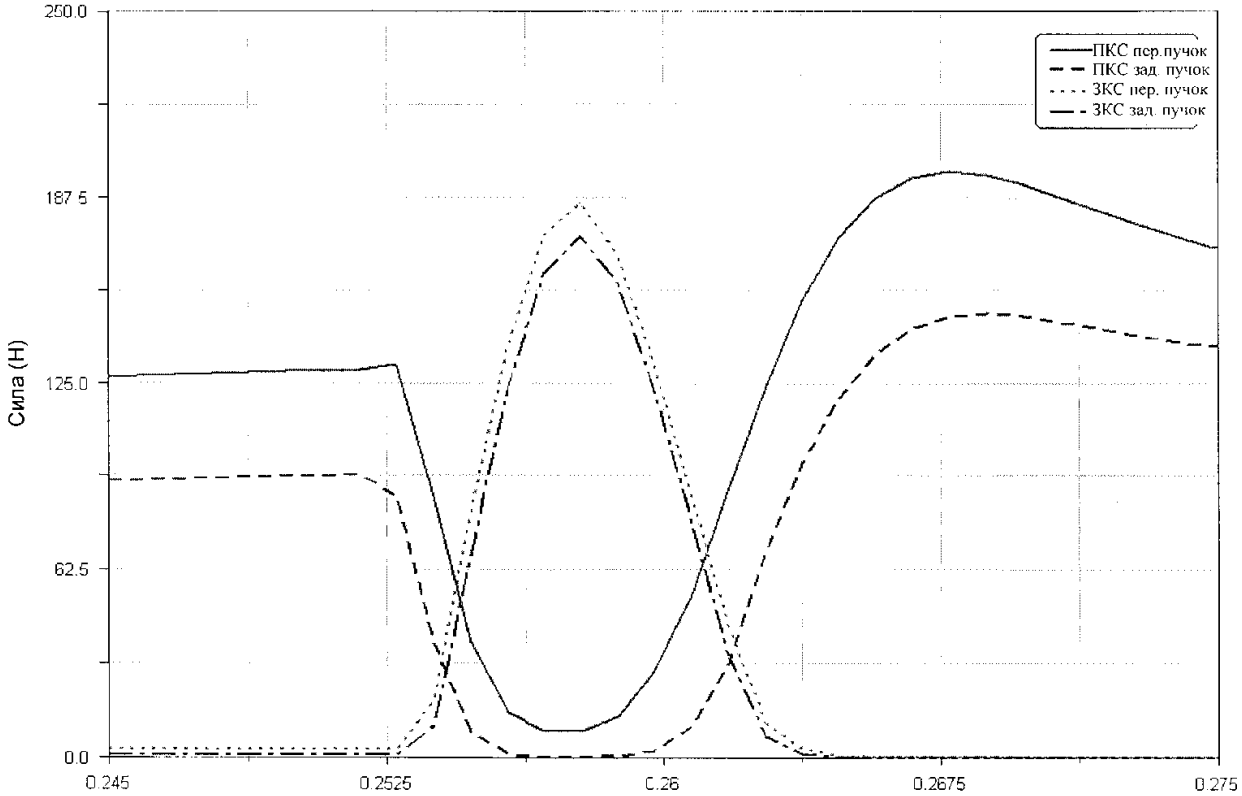

Рис. 10. Результаты моделирования приземления гимнаста на нескользкую мягкую поверхность с высоты 31см.

В таблице 1 приведены результаты моделирования приземления гимнаста на поверхность. Равномерное возрастание натяжения связок с увеличением высоты - предсказуемый результат. Можно предположить, что при высоте прыжка или падения 50см и более и приземлении на поверхность возможен разрыв передней крестообразной связки.

Таблица 1. Зависимость натяжения крестообразных связок от высоты

Высота	Натяжение ПКС	Натяжение ЗКС
31см	800 Н	500 Н
21 см	700 Н	400 Н
11 см	600 Н	300 Н

Моделирование биомеханики позвоночника

В качестве модели позвоночника используется эластичный, предварительно деформированный стержень.

Наряду с этим рассматриваются статические, кинематические и динамические функции позвоночника в процессе спортивной деятельности человека, оцениваются возможные случаи травматизма, а также задача возникновения и оценки предельно допустимых нагрузок при возможных вариантах травмирующих действий. Такая модель позволяет применять математические методы для прогнозирования предельных нагрузок (как по абсолютному значению, так и по длительности действия), а также решать практические задачи, связанные с травматизмом в спорте.

В статическом положении позвоночник испытывает действие сил тяжести отдельных сегментов человеческого тела, расположенных выше тазового сочленения. Уже это создает деформирующую нагрузку на позвонки и межпозвонковые диски и, как известно, может привести к патологии позвоночника при неправильной осанке. При простых движениях (ходьбе, наклонах и пр.) вид деформирующей нагрузки изменяется, что также может привести к патомеханическим последствиям. В спортивной деятельности человека, особенно в спорте высших достижений, большинство производимых движений по своим механическим характеристикам выполняются на грани возможного, а порой и невозможного, Естественно, что позвоночник спортсменов при этих действиях подвергается значительным перегрузкам. Модель позвоночника в виде эластичного предварительно изогнутого стержня обладающего определенными механическими характеристиками позволяет моделировать различные виды травмирующих действий.

Модель представляет позвоночный столб как напряжённую конструкцию. Данная модель представляет частный случай моделирования нестабильности позвоночника при кифотических деформациях тел позвонков. Она представляется важной для лечения и предотвращения прогрессирования посттравматических кифотических деформаций позвоночника. С учетом созданной модели, авторы предложили оптимальные методы коррекции и профилактики нарастания кифозов любой этиологии.

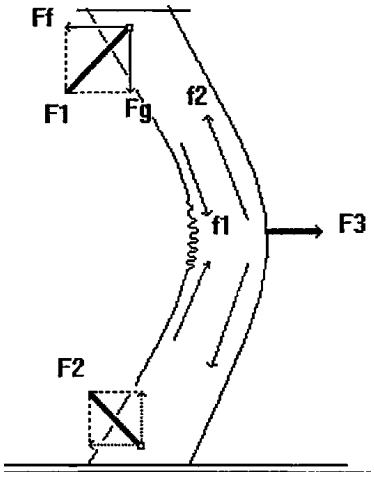

Рис. 11. Схема стабильности позвоночного столба при кифозах

По данным сегментарной модели сформированы общие принципы корригирующего лечения кифозов и нестабильности позвоночника вследствие кифозов. Это следующие принципы:

- Манипуляции на позвоночнике должны ликвидировать и уменьшить воздействие факторов способствующие кифозированию и дополнять или компенсировать факторы, препятствующие деформациям,
- Силы, направленные к позвоночнику в ходе оперативного вмешательства должны быть направлены против сил, вызывающих деформации.

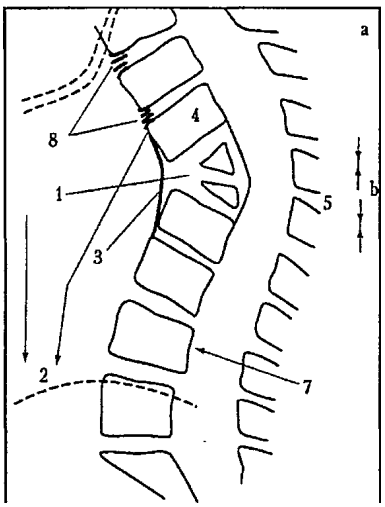

Рис. 12. Схема сегментарной модели стабильности позвоночника.

Под нестабильностью позвоночника подразумевают такое нарушение взаимодействия между телами позвонков, когда вследствие сугубо механических причин изменяются нормальные законы статики и кинетики позвоночного столба в определенном участке, что проявляется в избыточной и аномальной подвижности тел, некорректных их перемещениях, выходящих за физиологические пределы.

Рассмотрим механическую систему - три позвонка, связанные между собой межпозвоночными дисками (передний опорный комплекс), мышцами и связками (задний опорный комплекс).

Каждый позвонок можно условно разделить на три части:

1. передний(А),

2. средний(М)

3. задний(Р) столбы, как это видно из рис. 12.

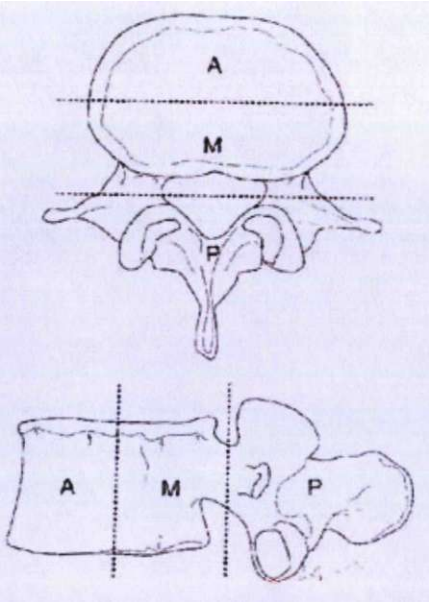

Рис. 13. Три столба позвонка

На передний столб позвонка приходится приблизительно 30% всей нагрузки на позвонок, на средний столб 40% и на задний 20%.То есть, основная часть нагрузки на позвоночник - 70%, приходится на передний и средние столбы (см. рис. 13).

В связи с этим, очевидно, что при переломах позвоночника обычно ломаются столбы А и М. На основе данных о трехстолбовой модели позвонка была построена математическая модель трёхпозвонкового комплекса человека, где роль позвонков выполняют материальные точки с заданными массами, а роль хрящей выполняют пружины с заданными коэффициентами жесткости. Повреждения позвоночника подразделяют на несколько типов:

1. Компрессионные переломы,
2. Оскольчатые переломы,
3. Переломо-вывихи,
4. Сгибательно-дистракционные повреждения.

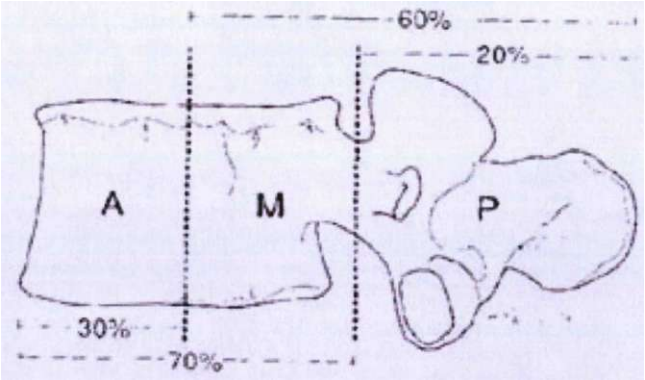

Рис. 14. Распределение нагрузки на позвонок

Таблица 2. Предел прочности позвонков

Наименование позвонка	Предел прочности, кгс	Наименование позвонка	Предел прочности, кгс	Наименование позвонка	Предел прочности, кгс
C_1	800	T_2	436	T_{10}	860
C_2	510	T_3	467	T_{11}	917
C_3	404	T_4	522	T_{12}	1054
C_4	408	T_5	551	L_1	1059
C_5	453	T_6	619	L_2	1175
C_6	563	T_7	681	L_3	1269
C_7	464	T_8	824	L_4	1296
T_1	475	T_9	840	L_5	1286

Анализ морфологического материала и диаграмм нагружения позволил установить пороговые величины нагрузок, влекущих за собой разрушение позвонков. Первые микроскопически необратимые изменения в виде компрессии лимбовой зоны появились при деформации тел позвонков приблизительно на 12-13% от исходной высоты. Сжатие позвонков на 17-18% вызывало появление трещин и компрессии в области талии. Увеличение сжатия до 24-26% от их первоначальной высоты приводило к возникновению переломов тел позвонков без смещения отломков, а продолжающееся сжатие на 36-37% вызывало переломы со смещением.

Таблица 3. Предел прочности, упругая деформация и коэффициенты жесткости различных участков позвоночника

№	Наименование комплексов	Предел прочности, кг/см^2	Упругая деформация X, мм	Коэффициенты жесткости С, н/мм
1.	Шейный отдел	120-170	4,0-5,2	(2.30 - 5.52)*103
2.	Грудной отдел	190	5.3	4.66-103
3.	Поясничный отдел	420	5,0-8.5	(6.40-11,00) 103
4.	Целая грудная клетка	240	33,0	944.40

Методы оценки функции позвоночника

Оценка положения позвоночника в сагиттальной и фронтальной плоскостях осуществляется визуальным и инструментальным методами.

При проведении осмотра обследуемому обычно предлагается раздеться, снять обувь, стать свободно и принять удобную для него позу. При осмотре спереди определяется:

а) положение головы (боковой наклон и ротация);

б) уровень плеч;

в) форма грудной клетки;

г) степень равномерности развития обеих сторон грудной клетки;

д) симметричность стояния костей таза;

е) взаиморасположение и симметричность свободных нижних конечностей;

ж) степень развития и симметричность мускулатуры.

При осмотре в профиль определяются:

а) положение головы (наклон вперед, назад);

б) форма грудной клетки;

в) наличие деформации одной из сторон грудной клетки;

г) выраженность физиологических изгибов в сагиттальной плоскости.

При осмотре сзади определяются:

а) общий наклон туловища в одну из сторон;

б) положение головы (наклон ее в одну из сторон);

в) симметричность расположения плеч;

г) пространственное положение внутреннего края лопатки относительно позвоночника (визуально определяемое расстояние от внутреннего края лопаток до позвоночника, уровень стояния углов лопаток);

д) симметричность формы и глубины подмышечных складок справа и слева;

е) отклонение позвоночника от средней линии вправо или влево (расположение линии остистых отростков позвонков);

ж)наличие реберного выбухания и мышечного валика;

з) симметричность стояния костей таза;

к) симметричность ягодичных складок;

л) симметричность подколенных складок:

м) симметричность внутренней и наружной лодыжек;

н) форма пяток.

Затем осмотр производится при наклоне обследуемого вперед с опущенной головой и руками.

Для определения положения позвоночника в сагиттальной и фронтальной плоскостях производятся измерения:

1. Глубины шейного и поясничного лордозов (в см от отвеса, прикрепленного на затылочном бугре).
2. Расстояния от медиального края лопатки до остистых отростков позвонков.
3. Крестцового кифоза (если кривая изгиба крестцового кифоза пересекалась с отвесом, то расстояние до нее отмечается знаком "+", если не пересекалась - знаком "-").

С целью выявления функционального блокирования в шейном отделе позвоночника проводится исследование в нем объема активных и пассивных движений.

При определении *объема активных движений в позвоночнике* обследуемому, сидящему на кушетке, предлагается поочередно наклонить голову вперед и назад, в стороны, а также повернуть ее влево и вправо. В норме обследуемый может коснуться подбородком груди, разогнуть голову на 35 градусов, наклонить ее в стороны на 45 градусов, повернуть на 90 градусов.

Определение объемов пассивных движений в атланто-затылочном сочленении. Объем пассивного наклона вперед определяется при помощи методики «предкива». Ее суть заключается в следующем. Обследуемый

лежит на спине, голова на кушетке. Одна рука обследующего вилкообразно (первым и вторым пальцами) фиксирует заднюю дугу атланта. Другая - вилкообразно накладывается на его лоб. Выполняется наклон головы до ощущения преграды, после чего дополнительно проводится пружинирование. При наличии функционального блокирования сразу или при проведении пружинирования ощущается сопротивление.

Объем пассивного наклона назад определялся при помощи методики «закива». Техника ее выполнения заключается в следующем. Положение обследуемого и одной руки обследующего аналогичны таковым в методике «предкива». Вторая рука обследующего охватывает подбородок обследуемого. Проводится максимальный наклон головы назад до ощущения преграды и последующее пружинирование. При наличии функционального блокирования сразу или при проведении пружинирования ощущается сопротивление.

Объем пассивного бокового наклона определяется методикой «кива». Обследуемый лежит на спине строго вертикально, плечи на краю кушетки. Обследующий стоит у головы обследуемого, положив ее на свое полусогнутое колено. Руки обследующего расположены таким образом, что первые пальцы находятся на нижней челюсти, а радиальные края вторых - на сосцевидных отростках и затылке. Затем проводится максимально возможная ротация головы обследуемого (без смещения от вертикальной оси) с незначительной тракцией. Определение подвижности проводится на 'стороне, противоположной ротации. После этого в положении ротации осуществляется боковой наклон. С этой целью радиальный край верхней ладони производит давление в направлении вниз а краниально, а нижняя ладонь оказывает давление в краниальном направлении. При наличии функционального блокирования ощущается сопротивление.

Для выявления функционального блокирования отдельных сегментов в грудном отделе позвоночника проводится определение:

- «дыхательной волны»;
- складки Киблера;
- объема активных движений;
- пружинирования поперечных отростков и реберно-позвоночных
- устаов.

Определение дыхательной волны. Исходное положение обследуемого - лежа на кушетке на животе. Обследующий сидит рядом так, что его глаза находятся на уровне спины обследуемого. По просьбе обследующего обследуемый делает медленный глубокий вдох и затем медленный выдох. В норме при вдохе движение идет в каудальном направлении, равномерно, посегментарно вплоть до тораколюмбального перехода, при выдохе - в краниальном направлении. Движения позвонков можно дополнительно контролировать рукой. Отсутствие движений в одном или нескольких сегментах говорит о блокаде.

Определение складки Киблера. Исходное положение обследуемого - лежа на кушетке на животе. Обследующий сидит рядом с обследуемым. Обследующий захватывает двумя руками складку кожи на спине и проводит «скольжение» вверх по позвоночнику. Там, где имеется функциональная блокада, тургор кожи повышен и складка выскальзывает из рук.

Определение активных движений в грудном отделе позвоночника. Исходное положение обследуемого - сидя «верхом» на кушетке. Кисти рук в замке на затылке. Обследуемый активно, но медленно проводит наклоны вперед, назад, боковые наклоны, ротацию. Необходимо следить, чтобы движения осуществлялись строго в заданной плоскости. Обследующий констатирует объем движений, их симметричность, плавность перехода движения от одного сегмента к другому.

Пружинирование поперечных отростков позвонков. Исходное положение обследуемого - лежа на кушетке на животе. Обследующий сидит рядом с обследуемым. Обследующий кладет второй и третий пальцы

вилкообразно пара-вертебрально в проекции поперечных отростков, а ладонью другой руки, находящейся на пальцах первой, делает пружинирующие движения, последовательно обследуя позвоночник. При этом необходимо учитывать, что пружинирование можно начинать тогда, когда пальцы прошли мягкие ткани и ощутили сопротивление кости. «Пружинирование» с разгона диагностической ценности не имеет.

Определение пружинирования реберно-позвоночных суставов. Исходное положение обследуемого - сидя на краю кушетки как на коне верхом. Обследующий стоит сбоку от обследуемого. Руки обследуемого в замке на затылке. Фиксирующей рукой, расположенной на противоположном плече обследуемого, проводится ротация и сгибание позвоночника с целью максимального отведения лопатки от позвоночника. Подушечкой первого пальца руки обследуемого, приложенной в области реберного бугорка, проводится пружинирование. Исследование осуществляется с обеих сторон. Затем исследуются объемы пассивных наклонов вперед, назад, боковых наклонов, ротации и подвижности ребер.

С целью выявления функционального блокирования крестцово-подвздошного сочленения определяются:

- симметричность расположения остей подвздошных костей,
- симметричность расположения ягодичных складок,
- симметричность ягодиц по объему,
- проба Дерболовского,
- тест Жилетта,
- тест на «опережение» (флексионный тест).

Методика проведения пробы Дерболовского. Суть данной пробы заключается в сравнении положения центров медиальных лодыжек обследуемого в положениях сидя и лежа. Несовпадение центров лодыжек, определяемое в обоих положениях, свидетельствует об истинном анатомическом укорочении свободной нижней конечности.

Методика проведения теста Жилетта. Обследуемый стоит спиной к обследующему. Подушечки первых пальцев рук обследующего располагаются на задних верхних остях его подвздошных костей. Обследуемому предлагается поочередно согнуть ноги в коленном и тазобедренном суставах. Оценивается симметричность объема движений с обеих сторон.

Методика проведения теста на «опережение» (флексионного теста). Обследуемый стоит спиной к обследующему. Подушечки первых пальцев обследующего располагаются непосредственно под задними верхними остями подвздошных костей. Обследуемому предлагается наклониться вперед. При наличии функционального блокирования в области крестцово-подвздошного сочленения ость на стороне блокирования совершает движение вверх значительно быстрее и в большем объеме, чем на здоровой стороне.

Следует заметить, что взаимосвязи между частотой выявления нарушений взаиморасположения костей таза и изменением положения позвоночника во фронтальной плоскости у спортсменов высокого класса не установлено.

В то же время, наблюдается определенная зависимость частоты выявления функционального блокирования на уровне C_0-C_1 и нарушений положения таза.

Если блокирование происходит на еще интактном объекте, например, на позвоночнике в юном возрасте, последствия его на первый взгляд незначительны. Может возникать боль, которая в большинстве случаев вскоре спонтанно затихает, как это происходит при острой кривошее. Нарушения движений компенсируются. Однако уменьшение подвижности блокированного сустава немедленно сказывается на остальных отделах двигательной системы, особенно конечностях.

На многозвеньевом позвоночнике выпадение движения в одном или нескольких суставах может остаться незамеченным. Цена компенсирующих усилий – перегрузка компенсирующих участков или аномальная нагрузка на них. Это особенно заметно при блокировании ключевых регионов позвоночника, чьи функции невозможно без затруднений перенести на соседние области. Так, при блокировании ротации атланта относительно аксиса остальная часть шейного отдела должна компенсировать эту ротацию, к чему она мало приспособлена. В связи с этим естественно возникает ее функциональная перегрузка.

Блокирование не может не оказать воздействия и на пораженный сегмент, поскольку функция и трофика тесно связаны между собой. Отсюда возможность возникновения в блокированном двигательном сегменте выраженных регрессивных изменений.

Кроме того, следует иметь в виду, что функциональное блокирование двигательных сегментов создает последовательную цепочку мышечных гипертонусов, которые, в свою очередь, могут вызвать блокирование в других двигательных сегментах. При этом любой мышечный гипертонус может явиться причиной болевого синдрома, для уменьшения которого человек принимает вынужденную анталгическую позу, вызывающую или закрепляющую нарушение положения позвоночника.

Среди атлетов высокой квалификации, специализирующихся в различных видах спорта, в достаточно большом проценте случаев встречаются лица, которые имеют определенные изменения положения позвоночника в обоих плоскостях и костей таза.

Уменьшение величины грудного кифоза и поясничного лордоза, как правило, наблюдается у спортсменов, длина тела которых превосходит таковую у лиц с нормальной величиной физиологических изгибов.

У подавляющего большинства атлетов наблюдается увеличение глубины шейного лордоза, визуально скрываемое за счет кажущегося

увеличения массы трапециевидной мышцы вследствие приближения мест ее прикрепления.

Применительно к спортсменам высокой квалификации сложившееся представление о "симметричных" и асимметричных" видах спорта мало приемлемо, так как на фоне мощного мышечного корсета степень значимости отдельных факторов, провоцирующих нарушение положения позвоночника во фронтальной плоскости, изменяется.

Независимо от специфики спортивной специализации у спортсменов очень высока частота выявления определенных физиолого-биомеханических нарушений функционального состояния ОДА, в частности функционального блокирования в различных регионах позвоночника и крестцово-подвздошном сочленении, а также изменений тонусно-силовых взаимоотношений отдельных мышц и мышечных групп.

Учитывая, что применительно к лицам, не занимающимся спортом, комплекс подобных нарушений ОДА принято относить к факторам, провоцирующим или поддерживающим целый ряд пограничных и патологических состояний, связанных с различными органами и системами. Физиолого-биомеханические нарушения ОДА, в частности функциональное блокирование в различных отделах позвоночника, а также изменения тонусно-силовых характеристик отдельных мышц и мышечных групп, в отдельных случаях могут явиться причиной возникновения у спортсменов болевых ощущений и как следствие вынужденного изменения или даже прекращения на определенное время тренировочного процесса.

На фоне функционального блокирования в грудном отделе позвоночника у спортсменов обнаруживается отчетливая тенденция к снижению вентиляционных возможностей за счет уменьшения экскурсии грудной клетки.

Выраженное повышение тонуса отдельных мышц и мышечных групп может приводить к возникновению у спортсменов развернутых мышечно-

тонических синдромов. К подобным синдромам относится синдром передней лестничной мышцы, подвздошно-поясничной мышцы и пирамидальной мышцы.

Анализ возможных негативных последствий физиолого-биомеханических нарушений ОДА свидетельствует о том, что их длительное существование может явиться причиной возникновения у спортсменов хронического физического перенапряжения мышц, суставно-связочного аппарата и костной ткани.

Влияние спортивных нагрузок на функциональное состояние суставов и позвоночника и прогнозирования риска получения травмы

Схема влияния разнообразных факторов на риск получения травмы показана на рис. 15.

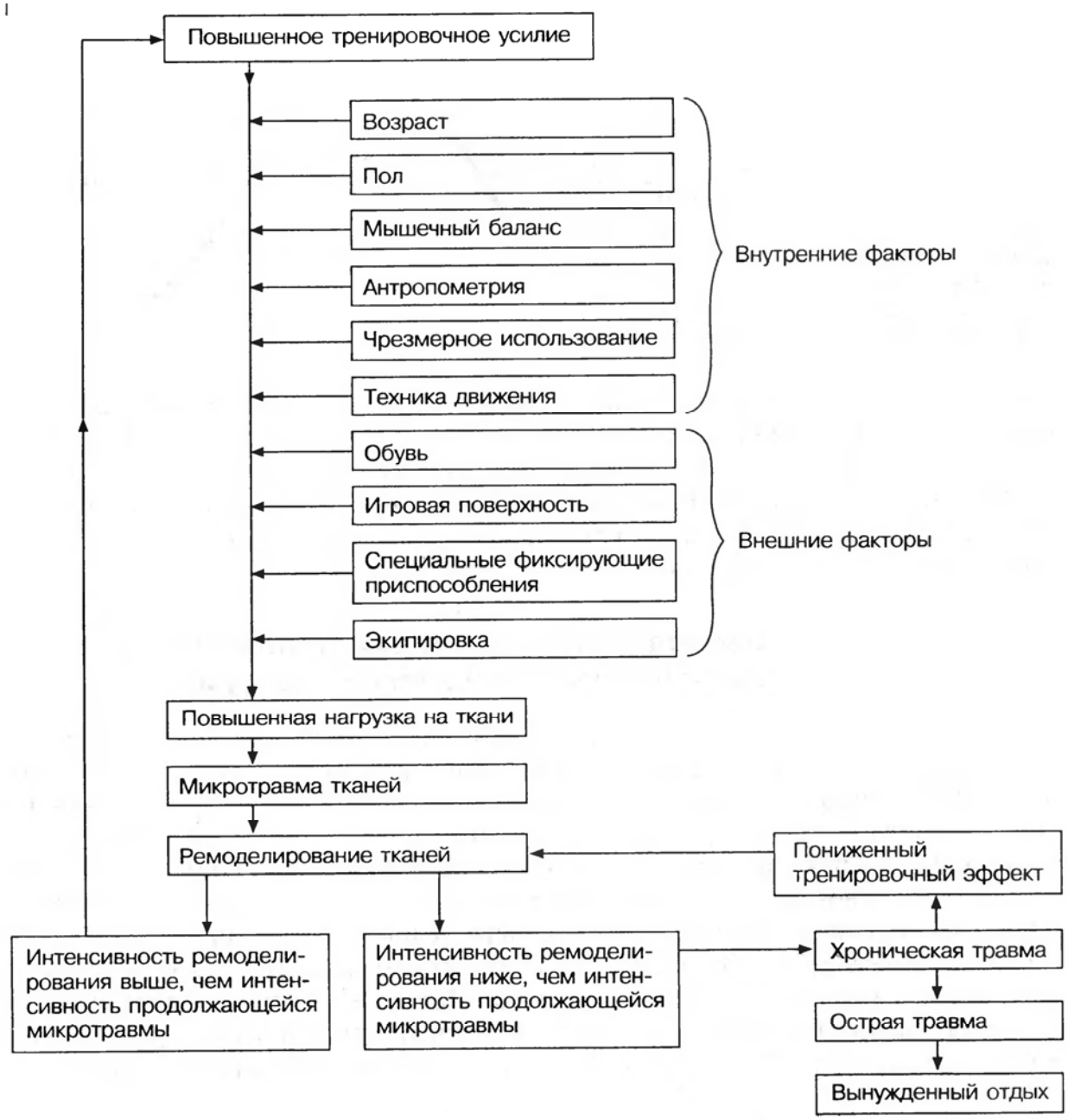

Рис. 15. Модель развития травмы относительно внутренних и внешних факторов риска

Абсолютная и относительная (к числу километров/недели) частота прерывания тренировочного процесса, вызванного спортивной травмой показана на рис. 16.

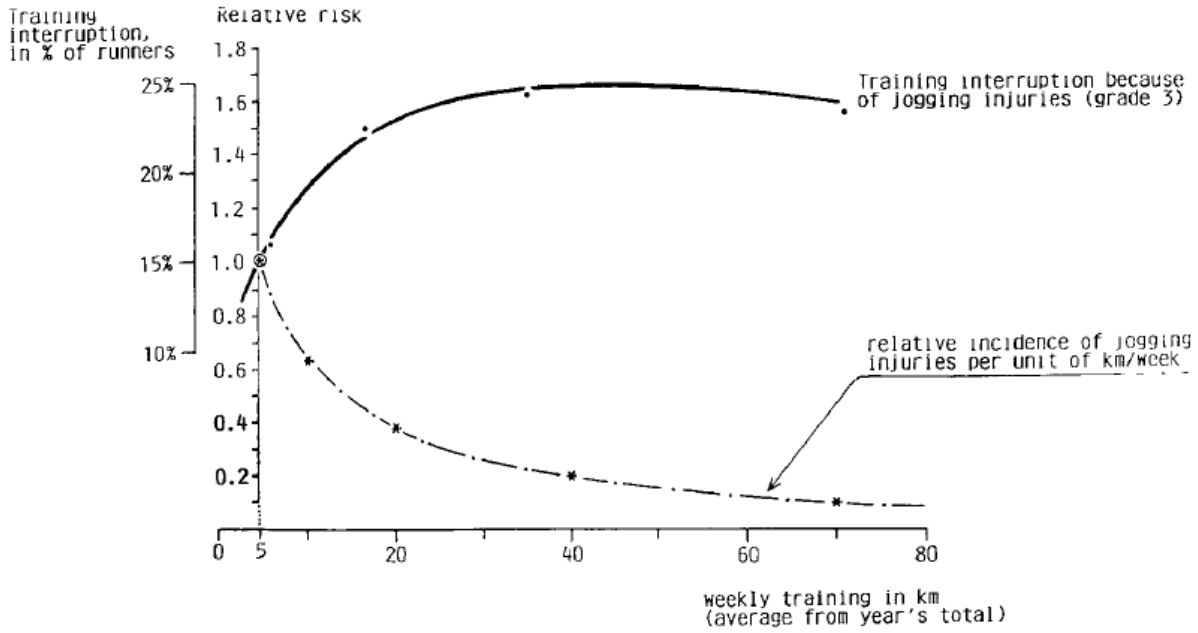

Рис. 16. Риск получения травмы в зависимости от недельного объема нагрузки.

В основу распределения спортсменов на группы могут быть выбраны следующие параметры:

- определение степени нарушенной функции;
- биомеханическая оценка функционального дефекта;
- спортивно-педагогическая оценка двигательного акта.

Основными причинами возникновения физиолого-биомеханических нарушений ОДА у спортсменов являются:

а) периодически неизбежные для каждой спортивной специализации «афизиологичные» нагрузки, а также

б) тонусно-силовые мышечные дисбалансы, обусловленные определенными педагогическими ошибками и отсутствием эффективной системы восстановления.

По результатам анализа типичных тренировочных занятий, направленных на развитие общей физической подготовленности представителей избранных спортивных специализаций, а также по данным литературы, касающимся традиционных методов тестирования силовых

возможностей отдельных мышечных групп, к наиболее частым из подобных ошибок следует отнести:

1. Использование упражнений для развития силовой выносливости мышц брюшного пресса в исходном положении «ноги выпрямлены, стопы закреплены» (при подобном исходном положении в основном развивается силовая выносливость подвздошно-поясничной мышцы).
2. Отсутствие (или минимальное количество) специализированных упражнений, направленных на развитие силовой выносливости косых мышц живота.
3. Отсутствие дифференцированных упражнений, целенаправленно развивающих силу ромбовидных мышц.
4. Отсутствие должного внимания к развитию силы медиальной порции верхнего пучка трапециевидной мышцы.
5. Отсутствие упражнений, направленных на расслабление (непосредственно или через антагонисты) прямых мышц бедра и подвздошно-поясничных мышц.
6. Отсутствие упражнений, направленных на расслабление (непосредственно или через антагонисты) трехглавых мышц голени.

Значимая роль морфофункциональной основы в возникновении микро- и макроповреждений ОДА у спортсменов обусловливает необходимость их специального тестирования, включающего в себя оценку:

а) положения позвоночника во фронтальной и сагиттальной плоскостях,
б) положения костей таза,
в) истинной длины обеих ног,
г) величины продольного и поперечного сводов стоп,
д) функционального блокирования в различных отделах позвоночника,
е) тонусно-силовых характеристик ведущих постуральных мышц.

Своевременное устранение вышеперечисленных патобиомеханических

проявлений функциональных нарушений ОДА позволит в значительной степени уменьшить частоту возникновения у спортсменов хронических заболеваний и острых травм ОДА, приводящих к длительным перерывам в тренировочном процессе.

При организации общей физической подготовки представителей различных спортивных специализаций необходимо иметь в виду, что среди постуральных мышц наиболее часто функционально ослабленными являются; прямые и косые мышцы живота, ромбовидные мышцы и медиальная порция верхнего пучка трапециевидной мышцы.

Независимо от спортивной специализации ошибки, допускаемые тренерами при развитии отдельных мышц и мышечных групп, в принципе, однотипны и могут быть классифицированы следующим образом:

- использование упражнений для развития силовой выносливости мышц брюшного пресса в исходном положении «ноги выпрямлены, стопы закреплены» (при подобном исходном положении в основном развивается силовая выносливость подвздошно-пояеничной мышцы);
- отсутствие (или минимальное количество) специализированных упражнений, направленных на развитие силовой выносливости косых мышц живота;
- отсутствие дифференцированных упражнений, целенаправленно развивающих силу ромбовидных мышц;
- отсутствие должного внимания развитию силы медиальной порции верхнего пучка трапециевидной мышцы;
- использование в исходном положении виса упражнений, приводящих к выраженной ротации позвоночника;
- отсутствие упражнений, направленных на расслабление (непосредственно или через антагонисты) прямых мышц бедра и подвздошно-поясничных мышц;

- отсутствие упражнений, направленных на расслабление (непосредственно или через антагонисты) трехглавых мышц голени.

При выборе методов и приоритетных зон постнагрузочной релаксации мышц необходимо иметь в виду, что в подавляющем большинстве случаев тонус расслабления мышцы наиболее высок в местах ее прикрепления.

Рис. 17. Алгоритм для оценки и лечения хронических болевых ощущения в области суставов и позвоночника

Восстановление функций опорно-двигательного аппарата спортсменов, перенесших травмы, и уровня их тренированности является органической составной частью всего процесса реабилитации. Процесс реабилитации спортсменов после травм ОДА согласно системе разработанной Башкировым В.Ф. и усовершенствованной Гершбургом М.И. подразделяются на три этапа: 1-й этап медицинской реабилитации, который осуществляется чаще в

условиях стационара, 2-й этап - этап спортивной реабилитации, преимущественно проводится в поликлинических условиях и 3-й этап - начальной спортивной тренировки, - в естественных условиях спортивной деятельности.