

ФЛЕКСИОННО-ЭКСТЕНЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА: ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И МЕРЫ ПЕРВИЧНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ТРАВМАТИЗМА (ОБЗОР)

В. Ю. Ульянов — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, заместитель директора по научной и инновационной деятельности НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, доктор медицинских наук; **Х. Салиху** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, аспирант кафедры травматологии и ортопедии; **И. А. Норкин** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, профессор, доктор медицинских наук.

FLEXION-EXTENSION INJURIES OF CERVICAL SPINE: SIMULATION CAPABILITIES AND PRIMARY PREVENTION OF ROAD TRAFFIC INJURIES (REVIEW)

V. Yu. Ulyanov — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Deputy Director for Science and Innovations of Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, DSc; **Kh. Salikhou** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Post-graduate of Department of Traumatology and Orthopedics; **I. A. Norkin** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Deputy Director for Development of Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Professor, DSc.

Дата поступления — 14.05.2020 г.

Дата принятия в печать — 04.06.2020 г.

Ульянов В. Ю., Салиху Х., Норкин И. А. Флексивно-экстензионные повреждения шейного отдела позвоночника: возможности моделирования и меры первичной профилактики дорожно-транспортного травматизма (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2020; 16 (2): 500–505.

Обзор литературы, посвященной темам флексивно-экстензионных повреждений шейного отдела позвоночника, возможностей моделирования и мер профилактики дорожно-транспортного травматизма, основан на анализе 37 российских и зарубежных источников баз данных PubMed, e-Library, «КиберЛенинка» за 1972–2020 гг. Авторами проведен системный анализ современных сведений о механизмах флексивно-экстензионных повреждений шейного отдела позвоночника, описаны возможности моделирования этой широко распространенной травмы, имеющей значительные медико-социальные последствия, сделаны выводы о перспективах первичной профилактики подобных травм.

Ключевые слова: дорожно-транспортный травматизм, травма, шейный отдел, моделирование, профилактика.

Ulyanov VYu, Salikhou Kh, Norkin IA. Flexion-extension injuries of cervical spine: simulation capabilities and primary prevention of road traffic injuries (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research 2020; 16 (2): 500–505.

The article reviews 37 Russian and foreign literature sources available at PubMed, E-library, Cyberleninka databases on flexion-extension injuries of the cervical spine, simulation capacities, and measures of traffic accident trauma primary prevention. The authors analyzed contemporary data on the mechanics of flexion-extension injuries of the cervical spine, described the capacities of simulation for this common trauma that brings significant medical and social consequences, and drew conclusions on the prospects of traffic injury primary prevention.

Keywords: road traffic injuries, trauma, cervical spine, simulation, prevention.

Согласно данным современной литературы, в качестве наиболее часто встречаемой причины возникновения флексивно-экстензионных повреждений шейного отдела позвоночника рассматривается дорожно-транспортный травматизм, обусловленный т.н. «лобовыми» столкновениями движущихся транспортных средств или наличием механических барьеров на трассе (флексивный механизм), а также воздействием приложенной силы следующего позади автомобиля (экстензионный механизм) или боковым столкновением (флексивно-экстензионный механизм) [1, 2].

Биомеханические закономерности реализации флексивно-экстензионных механизмов травмы шейного отдела позвоночника до настоящего времени остаются недостаточно изученными. Данные ограничения обусловлены сложностью моделирования ситуаций автодорожной травмы. В литературе описываются только единичные натурные эксперименты на людях-добровольцах, которым осуществляли анализ движений шейного отдела позвоночника в условиях моделирования прямого механического воздействия, аналогичного движущемуся позади транспортному средству. Недостатками данной симуляционной модели явились малые величины заданного ускорения, не достигающие предельного

порога механической силы, а также устойчивая предварительная пространственная группировка тела добровольцев, обусловленная их осведомленностью о дизайне предстоящих натуральных экспериментов [3].

Другим способом изучения механизмов флексивно-экстензионных травм является визуальный анализ интраоперационных находок у пострадавших, характеризующихся механическими повреждениями отдельных анатомических структур — межостистых связок, межпозвоноковых дисков, суставных поверхностей, остистых отростков и тел позвонков, а также прилежащих паравертебральных тканей, морфологические изменения которых могут в той или иной степени свидетельствовать об особенностях биомеханики повреждений шейного отдела позвоночника. Данный способ изучения этих травм ограничивается обращаемостью пациентов за квалифицированной медицинской помощью, что далеко не всегда позволяет всесторонне оценивать особенности биомеханики травм шейного отдела позвоночника и сопряженных с ней тех или иных анатомических повреждений [4].

Учитывая массу ограничительных факторов при проведении натуральных испытаний на людях, I. MacNab (1982) начал выполнять эксперименты на анимальных моделях, имитируя автомобильную травму у обезьян в условиях общей анестезии. В результате данного исследования было обнаружено превалирование травм передних элементов шейного отдела позвоночника вследствие его гиперэкстензии.

Автором также были отмечены некоторые различия анатомо-биомеханических особенностей позвоночного столба у животных и людей, а также невозможность интерпретации полученных у животных данных применительно к человеческому организму [5].

Затратный с экономической и правовой точек зрения видеонализ краш-тестов автомобилей с использованием силиконовых имитаторов, невосстановленных трупов людей и анимальных моделей ограничивает применение последних для изучения механизмов флексионно-экстензионных повреждений шейного отдела позвоночника при дорожно-транспортных происшествиях (ДТП). В единичных случаях использования краш-тестов авторами исследований указывается на невозможность полноценного воспроизведения флексионно-экстензионных травм за счет использования большого количества фиксирующих приспособлений, искажающих биомеханику шейного отдела позвоночника [6].

Различные математические модели биомеханической системы, включающей шейный отдел позвоночника, голову потенциальных пострадавших, активный подголовник сиденья транспортного средства, дают некоторую информацию о деформативно-прочностных свойствах последней, но едва ли приближают исследователей к детализации механизмов анатомических повреждений некоторых костных структур, и особенно окружающих паравертебральных тканей, с учетом скорости движения и хронометража происходящих событий [7].

Ограниченность существующих экспериментальных моделей, имитирующих флексионно-экстензионные повреждения шейного отдела позвоночника, не позволяет в полной мере оценить отдельные компоненты их патогенеза в условиях дорожно-транспортного травматизма. По мнению некоторых авторов, флексионно-экстензионные травмы характеризуются пиковой ротацией позвонков на уровне CVI–CVII и CVII-Th1, превышающей функциональный порог экстензии шейного отдела позвоночника. Ротация позвонков на указанном уровне дополняется формированием S-образной деформации шейного отдела позвоночного столба с переразгибанием в его нижних отделах и сгибанием — в верхних. Эта деформация определяет локализацию повреждений позвоночно-двигательных сегментов на уровне нижнего шейного отдела позвоночника. Затем в условиях продолжающегося воздействия механической силы возникает дугообразный изгиб, приводящий к экстензии шейного отдела позвоночника без значимой ротации головы, что обусловлено амортизационными свойствами позвоночного столба в целом [8], однако данная гипотеза противоречит литературным данным, приводимым в работах, цитируемым ранее, согласно которым всегда имеет место гиперэкстензия головы [5, 9].

J.N. Grauer (1997) также обращает внимание на возникновение стойких и хорошо воспроизводимых в натуральных экспериментах превышений экстензии CVI–CVII и CVII-Th1 позвонков, максимальные значения которой коррелируют с появлением S-образных деформаций шейного отдела позвоночника и его сгибанием [9]. Модель J. Grauer с S-образными деформациями в своих экспериментах также повторил M.Y. Svenson (2000), однако он не использовал последнюю для биомеханических исследований механизмов флексионно-экстензионных повреждений шейного отдела позвоночника [10].

Изучением механизмов флексионно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника также

занимался L. Penning, который в своих работах отмечал, что преимущественное механическое воздействие может приходиться на краниоцервикальную зону [11–13], но эти данные не подтверждаются экспериментами, проводимыми J.N. Grauer, который убедительно доказал, что нижний шейный отдел позвоночного столба наименее устойчив к превышению физиологических пределов смещения [9]. Эти данные коррелируют с изменениями, обнаруживаемыми при судебно-медицинских исследованиях трупов лиц, пострадавших и умерших в результате ДТП. Согласно данным протоколов судебно-медицинских исследований трупов лиц, находившихся в автомобиле в момент ДТП в качестве водителей и пассажиров, в случаях наличия у них закрытых травм шейного отдела позвоночника обнаруживаемые повреждения локализируются на уровне CII–CVI позвонков при избыточной флексии и CIV–CVI — при избыточной экстензии [14].

Исследований, характеризующих механизмы повреждений паравертебральных тканей (дисторсии, разрывы) и связочно-суставного аппарата позвоночника, сопровождающихся вывихами или подвывихами позвонков, в литературе представлено еще меньше, что связано с максимальными затруднениями их моделирования в условиях натуральных экспериментов. По данным S. Ito (2004), в случаях низкоэнергетических травм шейного отдела позвоночника паравертебральные ткани наименее часто сопровождаются полными разрывами, отмечаются только растяжения последних в пределах своих деформативно-прочностных свойств. При кинематическом анализе деформаций шейного отдела позвоночника, моделируемых как при флексионно-экстензионных травмах, было выявлено, что повреждения обусловлены перерастягиванием волокон задних отделов межпозвонковых дисков, ориентированных к горизонтальной плоскости под углом 150 градусов, а также их передним и осевым смещениями [15]. Отдельными авторами на кадаверных моделях также было установлено, что при флексионно-экстензионных повреждениях шейного отдела позвоночника имеется значительное динамическое снижение деформационно-прочностных свойств связочного аппарата области шеи, обусловленное механической травмой [16]. Данные повреждения часто сопровождаются нарушениями целостности сосудов краниоцервикальной зоны, приводя к формированию окклюзий, аневризм, моделирование которых возможно осуществить только в каждой конкретной ситуации без возможности системного изучения вероятности возникновения последних в популяции [17].

Однако, несмотря на разность подходов к изучению отдельных механизмов флексионно-экстензионных повреждений шейного отдела позвоночника, общая характеристика, основанная на концепции трехколонной биомеханической системы позвоночного столба, им все же дана, и базируется она на комплексном влиянии трех механических воздействий (аксиальные компрессия и растяжение, горизонтальное смещение) [18]. Изученность к настоящему времени общих механизмов флексионно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника позволяет совершенствовать научно-обоснованную разработку мер первичной профилактики последних.

Мерами первичной профилактики флексионно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника являются предупреждение как самих ДТП, так и травматизма [19, 20].

Актуальность профилактики ДТП диктуется данными о показателях состояния безопасности до-

рожного движения, размещенными на официальном сайте «Главного управления по обеспечению безопасности дорожного движения МВД России» [21], и определяется разработкой на государственном уровне дополнительных мер по предупреждению, сохранению и укреплению здоровья, сохранению работоспособности и продлению жизни граждан.

Согласно этим данным, за 2019 г. в Российской Федерации произошло 164358 ДТП, в которых погибло 16981 (10,33%) человека и было ранено 210877 (128,3%). Из них ДТП с пострадавшими водителями (лицами, управляющими механическими транспортными средствами) составили 74913 (45,57%) (погибло — 6990 (4,25%), ранено — 77114 (46,91%)), с пострадавшими пассажирами — 60640 (36,89%) (погибло — 4606 (2,8%), ранено — 81982 (49,88%)), при столкновениях транспортных средств — 69841 (42,49%) (погибло — 7088 (4,31%), ранено — 108019 (65,72%)), на месте которых зафиксированы нарушения обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и железнодорожных переездов по условиям обеспечения безопасности дорожного движения — 54393 (33,09%) (погибло — 4941 (3,0%), ранено — 69401 (42,22%)), из-за эксплуатации технически неисправных транспортных средств — 6734 (4,09%) (погибло — 1107 (0,67%), ранено — 9789 (5,98%)), в населенных пунктах — 127710 (77,7%) (погибло — 8271 (5,03%), ранено — 157128 (95,6%)), в городских поселениях — 127710 (77,7%) (погибло — 8271 (5,03%), ранено — 157128 (95,6%)), из-за нарушения правил дорожного движения водителями транспортных средств — 146688 (89,24%) (погибло — 14420 (8,77%), ранено — 195037 (118,66%)), с водителями в состоянии алкогольного опьянения — 15760 (9,58%) (погибло — 4314 (2,62%), ранено — 21565 (13,12%)).

В Саратовской области в этот же период произошло 3159 ДТП, в которых погибло 293 (9,27%) человека и было ранено 4270 (135,16%). Из них ДТП с пострадавшими водителями (лицами, управляющими механическими транспортными средствами) составили 1469 (46,5%) (погибло — 121 (3,83%), ранено — 1567 (49,6%)), с пострадавшими пассажирами — 1163 (36,81%) (погибло — 88 (2,78%), ранено — 1641 (51,94%), при столкновениях транс-

портных средств — 1373 (43,46%) (погибло — 124 (3,92%), ранено — 2281 (72,2%)), на месте которых зафиксированы нарушения обязательных требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и железнодорожных переездов по условиям обеспечения безопасности дорожного движения — 1737 (54,98%) (погибло — 115 (3,64%), ранено — 2289 (72,45%)), из-за эксплуатации технически неисправных транспортных средств — 27 (0,85%) (погибло — 4 (0,12%), ранено — 38 (1,2%)), в населенных пунктах — 2599 (82,27%) (погибло — 164 (5,19%), ранено — 3351 (106,07%)) в городских поселениях — 2266 (71,73%) (погибло — 112 (3,54%), ранено — 2949 (93,35%)), из-за нарушения правил дорожного движения водителями транспортных средств — 2846 (90,09%) (погибло — 249 (7,88%), ранено — 3985 (126,14%)), с водителями в состоянии алкогольного опьянения — 360 (11,39%) (погибло — 86 (2,72%), ранено — 513 (16,23%)).

Сравнительный анализ показателей состояния безопасности дорожного движения за 2019 г. в Саратовской области по большинству параметров соответствует таковому по в Российской Федерации, что свидетельствует об имеющимся неблагополучии с точки зрения проведения первичных профилактических мероприятий.

Профилактика ДТП в Российской Федерации преследует целью устранение факторов, влияющих на состояние общественного здоровья, и основывается на регулировании скоростного режима движения в населенных пунктах, вне них, на автомагистралях и в жилых зонах таких транспортных средств, как легковые автомобили, в том числе с прицепом, грузовики категорий В и С, в том числе с людьми в кузове, мотоциклы, автобусы, в том числе маломестные, междугородные, при организованной перевозке детей и другие, а также при буксировке механических транспортных средств (табл. 1).

Однако всего только в 1/3 европейских стран предусматривается ограничение параметров скоростного режима, в том числе предельных скоростей, осуществляемое по решению местных органов власти [22].

Наряду с нарушением правил скоростного режима, мерой профилактики ДТП является соблюдение правил дорожного движения [23], а именно недопу-

Таблица 1

Таблица скоростного режима на дорогах России, км/ч

Транспортное средство	Населенный пункт	Вне населенного пункта	Автомагистраль	Жилая зона
Легковые автомобили	60	90	110	20
Легковые автомобили с прицепом	60	70	90	20
Грузовики категории В	60	90	110	20
Грузовики категории С	60	70	90	20
Грузовики с людьми в кузове	60	60	60	20
Мотоциклы	60	90	110	20
Автобусы междугородные	60	90	90	20
Автобусы маломестные	60	90	90	20
Другие автобусы	60	70	90	20
Автобусы при организованной перевозке детей	60	60	60	20
При буксировке механических транспортных средств	50	50	50	20

щение проезда на запрещающий сигнал светофора, выездов на перекресток при заторе, на встречную или выделенную полосу, пересечений сплошной разметки, обгонов, движения не по полосам, по обочине, левой полосе, разворотов на остановках, непредоставление преимущества, превышение максимальной массы и отсутствие детского кресла.

Действенной мерой профилактики ДТП является запрет на управление автомобилем в состоянии алкогольного опьянения, а также передачи управления транспортным средством второму лицу, находящемуся в состоянии алкогольного опьянения, которое определяется в ходе освидетельствования на состояние алкогольного опьянения сотрудниками государственной инспекции безопасности дорожного движения при использовании алкотестера (более 0,16 промилле выдыхаемого воздуха) или медицинского освидетельствования на состояние опьянения медицинскими работниками организаций, имеющих лицензию на осуществление медицинской деятельности по медицинскому освидетельствованию на состояние опьянения (алкогольного, наркотического или иного токсического), определяя содержание алкоголя в крови (более 0,35 промилле) и моче химико-токсикологическими методами (ст. 12.26 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях) [24].

Дополнительными мерами профилактики дорожно-транспортного травматизма могут являться организационные мероприятия, включающие улучшение качества строительства и ремонта дорожных полотен (увеличение полос, капитальный ремонт покрытия, ликвидация аварийно-опасных участков дороги); административно-правовые, в том числе ограничительные (увеличение установленного возраста для получения водительского удостоверения, принятие, возможно, предельного возраста для управления транспортным средством, временный или постоянный медицинский отвод в случаях приема по медицинским показаниям каких-либо лекарственных препаратов); ужесточение технических требований к производителям транспортных средств (оптимизация шин, тормозных систем, конструкции кузова, систем освещения) [25].

Резюмируя сказанное, можно отметить, что ответственность отдельных профилактических мероприятий не всегда очевидна, поэтому ориентированных актуальных исследований эффективности последних в качестве мер первичной профилактики флексиионно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника не осуществлялось.

Базисом профилактики травм лиц, находящихся в салоне транспортного средства, за счет совершенствования конструктивных особенностей автомобиля стали идеи У. Хэддона, направленные на модификации взаимоотношений водителя транспортного средства или пассажира с внешним миром. Определение разных видов воздействий и методов реализации приложенной энергии дало возможность изготовить изделия, направленные на снижение количества травм и степени их тяжести. Значительная часть работ У. Хэддона в настоящее время применяется в области автомобильной безопасности. Большая группа деталей конструкции автомобиля позволяет уменьшить силы, оказывающие воздействие на пассажирский салон. К ним относят так называемую «зону деформации», которая позволяет задней и передней частям автомобиля складываться от удара. В результате уменьшение импульса, который кузов транспорт-

ного средства получает при «лобовом» столкновении, происходит за большой промежуток времени. Это означает, что пассажирский салон поглотит меньшее количество энергии в единицу времени. Что же касается приложенной энергии, то при совершении работы на сжатие в зоне деформации последняя будет расходоваться раньше, чем деформация достигнет пассажирского салона [26].

Еще одним направлением профилактики флексиионно-экстензионных повреждений при ДТП является использование системы обеспечения пассивной безопасности пассажиров, к которой можно отнести ремни безопасности и детские автомобильные кресла. Эти приспособления поддерживают скорость пассажира равной скорости автомобиля, защищают пассажиров от повреждений внутренними элементами конструкции кузова и обеспечивают равномерное распределение нагрузок по площади, действующих на водителя или пассажира [27].

В соответствии с п. 2.1.2. Постановления Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090 (в ред. от 26 марта 2020 г.) «О Правилах дорожного движения» (вместе с «Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения») при движении на транспортном средстве, оборудованном ремнями безопасности, водитель должен быть пристегнут ремнями безопасности и не перевозить не пристегнутых пассажиров. Обязательное условие использования ремней безопасности в транспортных средствах определено Федеральным законом от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» и нормами международного права. В российских транспортных средствах ремни безопасности, а также воздушные подушки и подголовники кресел салона являются главными техническими средствами, минимизирующими угрозу получения флексиионно-экстензионных повреждений шейного отдела позвоночника находящимися в транспортном средстве людьми при возникновении ДТП, препятствуя перемещению тела пассажира вперед и удару головой о лобовое стекло [28, 29].

Из указанного перечня средств первичной профилактики флексиионно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника наиболее значимыми являются ремни безопасности, которые фиксируют водителя или пассажира жестким или инерционным способами в положении, не позволяющем осуществляться при ДТП перемещению тела вперед, предупреждая удар о рулевое колесо, переднюю панель и стекло переднего вида транспортного средства. Фиксация ремнями безопасности находящегося в салоне автомобиля человека обеспечивается рядом технических приспособлений, а именно преднатяжителями и ограничителями натяжения [30].

Использование преднатяжителей в транспортных средствах, конструктивно являющихся пиропатронами, обеспечивает быстрое натяжение ремня безопасности, например, при столкновении автомобилей в случаях, когда корпус автомобиля или тело пассажира смещается в результате приложения механической силы вперед, достигая превышения пиковых значений давления на ремень безопасности, что способствует срабатыванию ограничителя натяжения. Это приводит к снижению натяжения ремня безопасности при отсутствии ограничительных фиксаторов и препятствует повреждению элементов костного скелета грудной клетки, пояса свободной

верхней конечности. Данные конструктивные особенности, с одной стороны, за счет наличия преднапряженных ремней препятствуют смещению тела водителя или пассажира по траектории раскрытия подушки безопасности передней панели транспортного средства, а с другой стороны, способствуют избыточному механическому воздействию ремней безопасности на костные структуры грудной клетки и пояса верхней конечности [31, 32].

Вместе с тем конструктивные особенности самих ремней безопасности также могут становиться причиной получения дополнительных травм в случаях ДТП, в частности, если они являются опоясывающими. Такие ремни повышают вероятность возникновения различных компрессионных повреждений внутренних органов брюшной полости, поясничного отдела позвоночника или костей таза, значительно пополняя статистические данные количеством погибших в результате ДТП, в том числе на месте, еще до приезда бригад скорой медицинской помощи или службы медицины катастроф. Использование модификаций опоясывающих ремней безопасности за счет увеличения их ширины, согласно имеющимся данным, не позволяет уменьшить частоту повреждений, опосредованных их использованием. Специфическими травмами, возникающими в результате использования широких опоясывающих ремней, описываются в литературе разрывы сосудисто-нервных пучков области шеи различного диаметра, их тромбозы и эмболии, а также переломы и вывихи шейных позвонков [33]. Данные сведения демонстрируют необходимость дальнейшего конструктивного совершенствования ремней безопасности производителями транспортных средств, основываясь на данных краш-тестов, а также проведения научных исследований с точки зрения оценки эффективности использования этих фиксирующих устройств как средств профилактики флексивно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника.

Другим средством первичной профилактики флексивно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника являются так называемые подушки безопасности, предустановливаемые производителями транспортных средств в рулевые колеса, приборные панели, спинки водительского и/или пассажирского кресел, а также сбоку за обивкой салона и в крыше над дверными проемами. Эти технические средства обеспечивают сохранность головы, грудной клетки и пояса верхней конечности водителя и пассажиров от прямого контакта с элементами конструкции автомобиля, раскрываясь навстречу в момент получения механического удара с большой скоростью и за короткий временной отрезок. Эту особенность необходимо учитывать производителям транспортных средств вследствие наличия потенциальной возможности за счет подушки безопасности дополнительно травмирующего воздействия на голову водителя или пассажиров при ее раскрытии в момент ДТП. Данная особенность требует обязательного комбинированного оснащения транспортного средства ремнями безопасности и подушками безопасности, которые помогают балансировать телу человека, находящегося в салоне автомобиля в момент ДТП, дополнительно фиксируя в течение какого-то времени его тело ремнями безопасности и препятствуя механическому воздействию на голову подушек безопасности. На эту тему в литературе приводятся данные Национальной организации безопасности дорожного движения (NHTSA, США) о выявлении в течение

пяти лет около ста наблюдений летальных исходов, обусловленных травмами, полученными в момент ДТП при раскрытии подушек безопасности [34]. Однако эти данные никак не демонстрируют ситуацию, связанную с получением флексивно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника в результате механического воздействия подушками безопасности.

Немаловажное значение в первичной профилактике флексивно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника имеет оснащение автомобильных кресел активными и пассивными подголовниками, которые, несомненно, препятствуют возникновению данных повреждений за счет уменьшения расстояний при перемещениях головы и туловища и уменьшения избыточного растяжения шеи в результате прямых механических воздействий сзади. Подголовники, будучи комфортными во время вождения, должны быть регулируемыми по высоте, располагаться непосредственно за головой, не препятствуя ее поворотам и предотвращая перерастяжение в шейном отделе позвоночника в момент приложения механической силы [35, 36]. Наиболее безопасными и комфортными в настоящее время являются активные подголовники, которые могут быть соединены шарнирно со спинкой кресла; с подушкой на упругом элементе, выдвигающейся навстречу голове; подушкой, надуваемой вслед за головой в момент приложения механической силы при столкновении транспортного средства [37]. Выбор автором конечно-элементных моделей основывался на законах механики автомобильных кресел, оснащенных активными подголовниками. В ходе математических экспериментов было обнаружено снижение критерия NIS на 4% у модели, шарнирно соединенной со спинкой, на 24% — у модели с выдвигающейся подушкой. Оптимальной стала модель с подушкой, надуваемой вслед за головой в момент удара, критерий NIS у которой снизился на 31%.

Наиболее эффективными мерами профилактики флексивно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника можно считать предупреждение самих ДТП как источника травматизма и использование систем обеспечения пассивной безопасности пассажиров, однако анализ современных источников позволяет сделать вывод о недостаточной эффективности существующих методов. Результаты обзора свидетельствуют о необходимости дальнейшего конструктивного совершенствования средств первичной профилактики флексивно-экстензионных травм шейного отдела позвоночника участников дорожного движения.

Конфликт интересов: работа выполнена в рамках инициативного плана НИР кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России (номер государственной регистрации НИОКТР АААА-А18-118011790044-4).

References (Литература)

1. Morozov IN, Mlyavykh SG. The epidemiology of vertebral-cerebrospinal trauma. Medical Almanac 2011; 4 (17); 157–9. Russian (Морозов И.Н., Млявях С.Г. Эпидемиология позвоночно-спинномозговой травмы (обзор). Медицинский альманах 2011; 4 (17); 157–9).
2. Vasiliadis AV. Epidemiology map of traumatic spinal cord injuries: A global overview. Int J Caring Sci 2012; (5): 335–47.
3. Geigl BC, Steffan H, Dippel C, et al. Comparison of head-neck kinematics during rear end impact between standard hybrid III, RID neck, volunteers and PMTO's. Proceedings of the International Conference on Biomechanics of Impacts 1995; (23): 261–70.
4. Vinogradov VG, Komogorcev IE, Munkozhargalov BEH, et al. Spine Traumas. Guideline for doctors, medical residents

- and interns. Irkutsk 2011; 47 p. Russian (Виноградов В. Г., Комогорцев И. Е., Мункожаргалов Б. Э. и др. Повреждения позвоночника. Руководство для врачей, ординаторов и интернов. Иркутск, 2011; 47 с.).
5. MacNab I. Acceleration extension injuries of the cervical spine. In: Rothman RH, Simone FA, eds. *The Spine*, 1982. Vol. 2. Philadelphia: WB Saunders; 647–660.
 6. Jull G, Bogduk N, Marsland A. The accuracy of manual diagnosis for cervical zygapophysial joint pain syndromes. *Med J Aust* 1988; (148): 233–6.
 7. Panjabi MM, Cholewicki J, Nibu K, et al. Capsular ligament stretches during in vitro whiplash simulations. *J. Spine Disord* 1998; 11 (3): 227–32.
 8. Kotelnikov GP, Eydlin EG, Khabirov FA, et al. Whiplash neck injury. *Kazan medical journal* 2011; 92 (2): 240–3. Russian (Котельников Г. П., Эйтлин Е. Г., Хабиров Ф. А. и др. Хлыстовая травма шеи. Казанский медицинский журнал 2011; 92 (2): 240–3).
 9. Grauer JN, Panjabi MM, Cholewicki J, et al. Whiplash produces an S-shaped curvature of the neck with hyperextension at lower levels. *Spine* 1997; 22 (21): 2489–94. DOI: 10.1097/0007632-199711010-00005.
 10. Svensson MY, Boström O, Davidsson J, et al. Neck injuries in car collisions: a review covering a possible injury mechanism and the development of a new rear-impact dummy. *Accid Anal Prev* 2000; 32 (2): 167–75. DOI: 10.1016/S0001-4575(99) 00080–9.
 11. Penning L. Acceleration injury of the cervical spine by hyper translation of the head: Part II. Effect of hyper translation of the head on the cervical spine motion: discussion of literature data. *Eur Spine J* 1992; (1): 13–9.
 12. Penning L. Normal Movements of the Cervical Spine. *AJR Am J Roentgenol* 1978; 130 (2): 317–26. DOI: 10.2214/ajr.130.2.317.
 13. Penning L, Wilmsink JT. Rotation of the Cervical Spine. A CT Study in Normal Subjects. *Spine (Phila Pa 1976)* 1987; 12 (8): 732–8. DOI: 10.1097/00007632-198710000-00003.
 14. Pigolkin Yul, Dubrovin IA, Sedykh EP, et al. The forensic medical evaluation of the injuries to the cervical spine in the driver and the front-seat passenger of a modern motor vehicle after the frontal crash. *Forensic Medical Expertise* 2015; (6): 24–7. Russian (Пиголкин Ю. И., Дубровин И. А., Седых Е. П. и др. Судебно-медицинская оценка повреждений шейного отдела позвоночника у водителя и пассажира переднего сиденья современного легкового автомобиля при фронтальном столкновении. Судебно-медицинская экспертиза 2015; (6): 24–7). DOI: 10.17116/sudmed201558624–27.
 15. Ito S, Panjabi MM, Ivancic PC, et al. Spine canal narrowing during simulated whiplash. *Spine* 2004; 29 (12): 1300–39. DOI: 10.1097/01. brs. 0000127186.81814.4a.
 16. Ivancic PC, Coe MP, Ndu AB, et al. Dynamic mechanical properties of intact human cervical spine ligaments. *Spine J* 2007; 7 (6): 659–65. DOI: 10.1016/j. spine. 2006.10.014.
 17. Grin AA, Gorokhova YeN. Vertebral artery injury in cervical spine trauma. *Neurosurgery* 2002; (3): 65–71. Russian (Гринь А. А., Горохова Е. Н. Повреждение позвоночной артерии при травме шейного отдела позвоночника. Нейрохирургия 2002; (3): 65–71).
 18. Ulyanov VYu, Nikolenko VN, Drozdova GA, et al. Spinal cord traumatic disease: pathogenic and sanogenetic components of hemostasis: monograph. Saratov: Amirit, 2016; 196 p. Russian (Ульянов В. Ю., Николенько В. Н., Дроздова Г. А. и др. Травматическая болезнь спинного мозга: патогенетические и саногенетические звенья гемостаза: монография. Саратов: Амирит, 2016; 196 с.).
 19. Norkin IA, Baratov AV, Fedonnikov AS, et al. The importance of analysis of medical and social parameters of traumatic spine injuries for organization of specialized medical care. *Spine surgery* 2014; (3): 95–100. Russian (Норкин И. А., Баратов А. В., Федонников А. С. и др. Значимость анализа медико-социальных параметров травм позвоночника в организации специализированной медицинской помощи. Хирургия позвоночника 2014; (3): 95–100).
 20. Dobkin BH, D'Amato PP, Elashoff R, et al. International Randomized Clinical Trial, Stroke Inpatient Rehabilitation With Reinforcement of Walking Speed (SIRROWS), Improves Outcomes. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2010; 24 (3): 235–42. DOI: 10.1177/1545968309357558.
 21. Indicators of Road Traffic Safety. Russian (Показатели состояния безопасности дорожного движения). URL: <http://stat.gibdd.ru/> (April 6, 2020).
 22. Speed Management: Road Traffic Guideline for Managers and Experts. Geneva: Global Road Safety Partnership, 2008; 13–14. Russian (Управление скоростью: Руководство по безопасности дорожного движения для руководителей и специалистов. Женева: Глобальное партнерство дорожной безопасности, 2008; 13–14).
 23. Baranchikova MV, Maltseva TV. Features prevention and ensuring inevitability of responsibility in the field of road traffic when using auto-fixing of excess of speed. *Bulletin of Kazan Law Institute of the RF Ministry of Internal Affairs* 2017; 1 (27): 70–4. Russian (Баранчикова М. В. Мальцева Т. В. Особенности профилактики и обеспечения неотвратимости ответственности в сфере дорожного движения при применении средств автоматической фиксации превышения скорости. Вестник Казанского юридического института МВД России 2017; 1 (27): 70–4).
 24. Art. 12.26 of the RF Administrative Offense Code. Russian (Ст. 12.26 КоАП). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661_/27b951a9ca374e6081930cf85eabd581a523b1/ (April 22, 2020).
 25. Isachenkov PV. The mechanism and prevention of «whiplash» neck trauma at road accidents. *Bulletin of Russian State Medical University* 2006; (2): 375–6. Russian (Исаченков П. В. Механизм и профилактика хлыстовой травмы шеи в условиях дорожно-транспортных происшествий. Вестник РГМУ 2006; (2): 375–6).
 26. Haddon W Jr. A Logical Framework for Categorizing Highway Safety Phenomena and Activity. *Journal of Trauma* 1972; 12 (3): 193–207. DOI: 10.1097/00005373-197203000-00002.
 27. Cholewicki J, Panjabi MM, Nibu K, et al. Spinal Ligament Transducer Based on a Hall Effect Sensor. *J. Biomechanics* 1997; 30 (3): 291–3. DOI: 10.1016/S0021-9290(96) 00137–6.
 28. The Russian Federation Government Regulation «On Traffic Rules», Oct. 23, 1993 No. 1090 (amend. March 26, 2020). Russian (Постановление Правительства Российской Федерации от 23.10.1993 № 1090 (в ред. от 26.03.2020) «О Правилах дорожного движения»). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/a4b879c29ebc2ff9a56a0595499b6eb2dce7980e/ (April 24, 2020).
 29. The Russian Federation National Law «On Traffic Safety», Dec. 10, 1995 No. 196-FZ. Russian (Федеральный закон от 10.12.1995 № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения»). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585/ (April 23, 2020).
 30. Klimov VS, Shulev YuA. Clinical-epidemiological analysis of the cases of acute injury of the cervical spine in the Tula region. *Neurosurgery* 2008; (3): 68–72. Russian (Климов В. С., Шулев Ю. А. Клинико-эпидемиологический анализ острой травмы шейного отдела позвоночника и спинного мозга в тульской области. Нейрохирургия 2008; (3): 68–72).
 31. The Association of Neurosurgeons of Russia. Spine and spinal cord traumas in adults. Clinical guidelines. Moscow, 2016; 57 p. Russian (Ассоциация нейрохирургов России. Травма позвоночника и спинного мозга у взрослых. Клинические рекомендации. М., 2016; 57 с.).
 32. Matsushita T, Sato T, Hirabayashi K, et al. X-Ray Study of the Human Neck Motion Due to Head Inertia Loading. *SAE Technical Paper* 942208, 1994. DOI: 10.4271/942208.
 33. Shakhbazava AI, Buluga VS. Prevention of road traffic injuries. In: *Teaching Safety — Science and Education: collection of International conference papers/eds. Gafner VV, Pavlova AN. Yekaterinburg, 2015; 191–4.* Russian (Шахбазова А. И., Булыга В. С. Профилактика дорожно-транспортного травматизма. В сб.: Педагогика безопасности: наука и образование: сборник материалов международной научной конференции/сост. и ред. В. В. Гафнер, А. Н. Павлова. Екатеринбург, 2015; 191–4).
 34. Lord SM, Barnsley L, Wallis BJ, et al. Chronic cervical zygapophysial joint pain after whiplash. A placebo-controlled prevalence study. *Spine* 1996; 21 (15): 1737–44. DOI: 10.1097/00007632-19960810-00005.
 35. Ardasheva EI, Ardashev IP, Shpakovskii MS, et al. The injury of the posterior support complex of cervical spine for whiplash trauma. *Genij Ortopedii* 2014; (4): 45–8. Russian (Ардашева Е. И., Ардашев И. П., Шпаковский М. С. и др. Повреждение заднего опорного комплекса шейного отдела позвоночника при хлыстовой травме. Гений ортопедии 2014; (4): 45–8).
 36. Solopov DY, Zuzov VN. The Method of Improving Automobile Safety due to Improved Parameters of Car Seats with Passive and Active Head Restraints. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering* 2016; 6 (675): 50–61. Russian (Солопов Д. Ю., Зузов В. Н. Методика повышения безопасности автомобилей за счет улучшения параметров кресел с пассивными и активными подголовниками. Известия высших учебных заведений. Машиностроение 2016; 6 (675): 50–61).
 37. Husainov ASH, Kuzmin YuA. Passive car safety. Ulyanovsk: UIGTU, 2011; 89 p. Russian (Хусаинов А. Ш., Кузьмин Ю. А. Пассивная безопасность автомобиля. Ульяновск: УлГТУ, 2011; 89 с.).