

ОБЗОР ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТРАВМЫ

Самаркина О.Ю.^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский центр судебно-медицинской экспертизы»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия,
ORCID ID 0000-0003-3222-9662, e-mail: samarkina@rc-sme.ru;

²Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования Государственный научный центр
Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия

Автомобильные травмы являются глобальной проблемой общественного здравоохранения во всем мире. Проводимые в разных странах исследования этой проблемы указывают на очевидный значительный рост числа тяжёлых повреждений и смертности среди пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов. При этом большинство смертей и случаев получения тяжелых травм связано с воздействием транспортных средств на пешеходов. Целью проведенного исследования являлось выявление наиболее актуальных задач при анализе обстоятельств дорожно-транспортных происшествий, приводящих к автомобильным травмам, а также применяемых перспективных методов и технологий их анализа. Проанализировано 95 источников за период с 2010 по 2025 год, в список литературы включены 27 публикаций. Проанализирована как общая статистика по повреждениям участников дорожного движения, так и по группе лиц с ограниченными возможностями. Изучена зависимость тяжести автомобильной травмы от ситуаций дорожно-транспортного происшествия, характеристик транспортного средства, а также поведения и даже позы пешехода в момент столкновения. В результате было установлено, что большинство научных работ посвящено прогнозированию дорожно-транспортных происшествий – выявлению факторов риска, повышающих вероятность получения тяжелых травм в случае дорожно-транспортных происшествий. Разными группами ученых применяются разнообразные методы для моделирования и прогнозирования исходов столкновения транспортного средства с пешеходом. Таким образом, проблема автомобильной травмы остаётся актуальной, а её изучение приобретает особую значимость благодаря новым технологическим решениям, способствующим улучшению качества медицинской диагностики и повышению безопасности на дорогах.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие с участием пешехода, автомобильная травма.

REVIEW OF FOREIGN LITERATURE: MAIN RESEARCH AREAS ON CAR INJURIES

Samarkina O.Yu.^{1,2}

¹Federal State Budgetary Institution "Russian Center for Forensic Medical Examination" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia, ORCID ID 0000-0003-3222-9662, e-mail: samarkina@rc-sme.ru;

²Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education State Scientific Center of the Russian Federation - Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan, Moscow, Russia

Motor vehicle injuries are a global public health problem. Research conducted in various countries indicates a significant increase in the incidence of severe injuries and fatalities among pedestrians, cyclists, and motorcyclists. The majority of deaths and serious injuries are associated with vehicle impacts on pedestrians. The aim of this study was to identify the most pressing challenges in analyzing the circumstances of road accidents resulting in motor vehicle injuries, as well as the promising methods and technologies used for their analysis. Ninety-five sources covering the period from 2010 to 2025 were analyzed, with 27 publications included in the reference list. Both general statistics on road user injuries and those for individuals with disabilities were analyzed. The relationship between motor vehicle injury severity and the circumstances of the accident, vehicle characteristics, and the pedestrian's behavior and even posture at the time of impact was examined. As a result, it was found that the majority of scientific studies are devoted to predicting road accidents – identifying risk factors that increase the likelihood of serious injuries in road accidents. Different research groups use a variety of methods to model and predict the outcomes of vehicle-pedestrian collisions. Thus, the problem of road injuries remains relevant, and its study is gaining particular importance thanks to new technological solutions that contribute to improved medical diagnostics and increased road safety.

Keywords: vehicle-pedestrian collisions, motor vehicle trauma.

Введение

Одной из значительных проблем общественной безопасности и здравоохранения во всем мире является существенный рост тяжелых повреждений и смертности вследствие получения автомобильной травмы – у велосипедистов, мотоциклистов и пешеходов. Современный подход к изучению данной проблемы включает различные методы ретроспективного анализа произошедших ДТП, в том числе с использованием различных математических моделей, активное внедрение компьютерных методов трёхмерного моделирования столкновений транспортных средств с людьми, что помогает воссоздать обстоятельства ДТП, выявить основные причины и последствия травм, а также способствует созданию эффективных стратегий предотвращения аварий и снижения последствий столкновений.

Цель исследования – анализ отображения в специальной литературе основных аспектов ДТП, влияющих на частоту и тяжесть автомобильных травм, и используемых в настоящее время методов и технологий их анализа и моделирования.

Материалы и методы исследования

Поиск материалов был ограничен англоязычными источниками. При этом внимание было акцентировано на статистических обзорах, исследовательских статьях и материалах с анализом основных решаемых задач и применяемых методов при анализе повреждений пешеходов и других участников движения, их моделировании и прогнозировании.

Аналитический обзор литературы проводился в соответствии с рекомендациями PRISMA 2020: поиск материалов проводился по базам PubMed и Web of Science. Всего было изучено 95 источников за период с 2010 по 2025 год. В качестве релевантных были отобраны 27 публикаций, включенных в список литературы.

Результаты исследования и их обсуждение

Проблема получения травм и гибели людей вследствие автомобильных аварий с участием пешеходов остается актуальной для всего мира. Согласно исследованию Malta D.C. и соавторов, уровень летальных исходов от ДТП в Бразилии оставался почти неизменным, в пределах от 44 236 случаев в 1990 году до 44 529 случаев в 2019. Однако число погибших именно среди пешеходов существенно снизилось - на 77%. Напротив, показатели смертности среди мотоциклистов выросли на 53%, а среди велосипедистов - на 54%, что авторы связывают с изменением структуры участников дорожного движения [1]. Zewdie H.Y. и соавторы проанализировали ситуацию в колумбийской столице Боготе за промежуток времени с 2015 по 2019 год. Всего здесь было зарегистрировано полицией 173 433 ДТП, из которых четверть пришлась на происшествия с участием пешеходов. Такие инциденты составили половину от общего числа зарегистрированных смертельных случаев [2]. По

статистике, примерно каждая вторая смерть на дорогах Северной и Южной Америки приходится либо на водителя мотоцикла, либо на пешехода (по отдельности эти группы составляют 23% и 22% соответственно) [3].

Walugembe F. и соавторы представили данные ретроспективного исследования статистики ДТП в Танзании за период с 2014 по 2018 год, согласно которым всего зарегистрировано 6 772 ДТП, при этом наибольшее число ДТП произошло в 2014 году по сравнению с другими годами в течение периода исследования. Уровень смертности от ДТП только в муниципалитете Илала составил 36,4 на 100 000 населения. Около 28% от общего числа погибших зафиксировано среди пешеходов, при этом наблюдалась статистически значимая разница по сравнению с остальными участниками дорожного движения [4]. В Швеции число тяжелых травм у велосипедистов и пешеходов увеличилось более чем вдвое с 2003 по 2017 год [5]. Второй по величине группой погибших в результате ДТП были пешеходы и составляли чуть более четверти всех несчастных случаев со смертельным исходом в ДТП, причем в результате столкновений с ТС погибло $\frac{3}{4}$ пешеходов, а остальные – в результате падений. По травматизму пешеходы составили самую большую группу среди всех участников дорожного движения, независимо от вида ДТП [6]. По данным Temizel S. и соавторов, которые проанализировали статистику ДТП в Уганде за 2016 год, мотоциклисты (49,6%) и пешеходы (33,7%) – одни из наиболее уязвимых групп как в городской, так и в сельской местности [7].

Люди с ограниченными возможностями сталкиваются с наибольшим риском наезда ТС, в том числе из-за низкой скорости их перемещения на дороге [8]. Более высокий уровень смертности (на 36-75%) в результате столкновения с ТС регистрируется у пешеходов, использующих инвалидные коляски (сидящие пешеходы), чем у стоящих пешеходов. Daniel Grimdle и соавторы провели исследование, в котором использовали модель инвалидной коляски с ручным управлением. В качестве сидящего пешехода использовалась упрощенная модель пассажира-мужчины, а в качестве ТС – модели семейных автомобилей EuroNCAP и внедорожников. В рамках моделирования сидящий пешеход сталкивался с двумя ТС, соприкасаясь с тремя разными частями автомобиля на скорости 30 и 40 км/ч. В 75% столкновений пешехода выбрасывало из инвалидной коляски, в остальных случаях пешеход и инвалидная коляска были прижаты к ТС, пешеход не был выброшен. Основными причинами смерти «сидящих пешеходов» в результате этих столкновений были черепно-мозговые травмы. Давление на грудную клетку и живот оказалось недостаточно сильным, чтобы вызвать опасные для жизни последствия. Использование средств безопасности, таких как ремень безопасности для инвалидной коляски или персональная подушка безопасности, могли бы потенциально уменьшить риски получения серьезных повреждений при авариях, хотя эти меры требуют дополнительного исследования [9].

Исследователи указывают на разнообразные факторы, влияющие на статистику тяжелых повреждений и смертельных исходов. В районах с большим количеством деревьев, светофоров и автобусных остановок зарегистрировали более низкую смертность пешеходов, в то время как в районах с большей плотностью крупных дорог фиксировали высокий уровень травматизма [2]. По данным Zewdie H.Y. и соавторов, 9 из 10 смертей в результате ДТП происходят в странах с низким и средним уровнем дохода, что соотносится с результатами исследования Jie-Yi He [2; 10]. Timmermans С. и соавторы проанализировали статистику ДТП в государстве Катар с 2010 по 2016 год и установили, что на исход ДТП с тяжелыми травмами или смертельным исходом как водителей, так и пешеходов существенно влияют сезонные изменения погоды, при этом наибольшая уязвимость приходится на зимний и осенний периоды [11]. Большинство ДТП с участием пешеходов зарегистрировано на городских и муниципальных дорогах, а их причиной чаще всего было неблагоприятное техническое состояние дорожного покрытия, например наличие льда, снега, листьев или гравия [6]. Наличие снега и льда на дорожном покрытии повышает вероятность ДТП с участием пешеходов [12]. Пожилой возраст участников движения повышает вероятность получения серьезной травмы [5; 13]. Риск возникновения у пешехода тяжелой ЧМТ при скорости движения транспортного средства более 70 км/ч в 100 раз выше, чем при скорости удара менее 40 км/ч [14]. Вероятность ДТП со смертельным исходом выше на улицах с ограничением скорости более 40 км/ч [15].

Wang K. и соавторы на основе материалов о 975 столкновениях на городских скоростных автомагистралях создали упорядоченную модель логистической регрессии для оценки влияния различных факторов на тяжесть ДТП. Авторы определили, что пол потерпевшего, способ столкновения, вид и состояние дорожного покрытия, а также видимость являются важными факторами, влияющими на тяжесть столкновений на городских скоростных автомагистралях. Женщины с большей вероятностью были вовлечены в более серьезные столкновения на городских скоростных дорогах, чем мужчины. При столкновениях с пешеходами и безмоторными транспортными средствами риск более тяжелых травм был в 7,5 раз выше, чем при столкновениях транспортных средств. Вероятность более серьезных столкновений на городских скоростных автомагистралях с плохим покрытием и мокрой поверхностью выше, чем на городских скоростных дорогах с хорошим состоянием покрытия и сухим покрытием. Кроме того, по мере увеличения видимости вероятность более серьезных столкновений на городских скоростных трассах снижается [16]. К важным факторам, влияющим на тяжесть ДТП, относят наличие придорожной защиты, тип дороги и наличие срединного разделителя [17]. Столкновения пешеходов и транспортных средств на магистральных дорогах, кривых дорогах, дорогах с уклоном и кольцевых развязках,

использование средств связи во время движения, как правило, приводят к тяжелым травмам у пешеходов [18].

Fridman L. и соавторы проанализировали 826 ДТП с участием детей-пешеходов и выявили, что к факторам риска для водителя, определяющим вероятность стать участником такого ДТП, относятся молодой возраст водителя, темное время суток, нарушения правил дорожного движения (ПДД), снижение внимания, а также употребление алкоголя [19].

По данным Wansoo Pak и соавторов условия столкновения ТС с пешеходом значительно различаются в зависимости от характеристик ТС, например геометрии передней части, жесткости кузова и т.д., а также от антропометрических данных пешеходов, положения их тела во время движения и т.д. При столкновениях внедорожников с пешеходом чаще всего происходит скольжение тела над передней кромкой капота, а также регистрируется более короткая дистанция объезда, чем при столкновениях с седанами. Авторы установили, что позы пешехода влияли на вращение пешехода после удара и, следовательно, на область головы, которая повреждалась при ударе. Кроме того, поза пешехода на момент столкновения с ТС влияла на риск получения травм нижних и верхних конечностей [20]. Kalish Gunasekaran и соавторы (2022) определили, что технические характеристики ТС, особенно высота передней кромки капота (bonnet leading edge height, BLEH), разделенная на высоту центра тяжести (CG, center of gravity) тела пешехода, положительно коррелирует с кинематикой движения головы при падении [21].

К распространенным видами дорожно-транспортных травм относят ампутации, переломы, травмы спинного мозга и черепно-мозговые травмы (ЧМТ) [1]. По данным анализа 2 131 ДТП с участием 2 741 человека всех категорий участников дорожного движения, установлено, что из них 1 149 человек получили ЧМТ и 1598 (58%) умерли в течение 7 дней. Наиболее распространенной причиной смерти в течение первых 2 часов после ДТП является травма головы [14]. По данным Temizel S. и соавторов, чаще всего регистрировались легкие травмы конечностей (61,6%) и области головы/шеи (42%) [7].

В результате исследования Guibing Li и соавторов было установлено, что переломы черепа и очаговые повреждения головного мозга пешеходов при столкновении с ТС преобладают среди травм головы и обычно сочетаются друг с другом, в то время как сотрясение мозга обычно возникает изолированно. При ударе головой о лобовое стекло более высокая передняя кромка капота помогает снизить вероятность травмы мозга пешехода. Авторы доказали, что ни один из параметров формы передней части ТС, скорость удара, а также возраст пешехода не влияли на вероятность перелома черепа и очаговой черепно-мозговой травмы или сотрясения мозга у пешехода [22].

Важным шагом в разработке мер по повышению безопасности дорожного движения является прогнозирование ДТП. В частности, важно выявить факторы риска, повышающие вероятность получения тяжелых травм в случае ДТП [23]. Различные методы прогнозирования и моделирования активно используются для прогнозирования вероятности ДТП в тех или иных условиях, тяжести травмирования участников ДТП и выявления различных факторов, влияющих на их смертность [23-25]. Отдельного внимания заслуживают различные подходы для прогнозирования исходов различных сценариев столкновения ТС с пешеходом. Jinming Wang и соавторы изучили возможности реконструкции столкновения ТС с пешеходом с использованием геоматики и численного моделирования. Для получения информации о месте происшествия, ТС и пострадавшем пешеходе использовали беспилотный летательный аппарат (БПЛА), лазерный сканер и систему сканирования структурированным светом. Авторы использовали моделирование методом многотельных систем (multi-body system, MBS) для восстановления кинематики столкновения автомобиля с пешеходом. Для прогнозирования травм было проведено моделирование методом конечных элементов (Finite element, FE) с использованием цифровой модели тела человека (Total Human Body Model for Safety, THUMS) [26]. Конечно-элементная модель человеческого тела THUMS (FE-HBM) используется при экспертизе ДТП с участием пешеходов и для прогнозирования травм пешеходов в реальных авариях [6].

Для проверки воспроизводимости и эффективности этого метода моделирования было проведено исследование реального столкновения ТС с пешеходом. Результат реконструкции показал, что прогнозы кинематики и травм, полученные при моделировании, соответствовали данным видеонаблюдения и экспертизе фактической аварии. Авторы сделали вывод, что фотограмметрия с БПЛА более эффективна при сборе данных об авариях, чем рутинная экспертиза и измерения, а 3D-лазерное сканирование позволило упростить и повысить точность процесса моделирования [26].

Pushpender Panday и соавторы опубликовали исследование метода, позволяющего проводить комплексную оценку безопасности уязвимых участников дорожного движения (VRU, vulnerable road users). Разработанный метод позволяет учитывать активные и пассивные меры безопасности, а также различные реальные сценарии аварий. На основе моделирования авторы определяли, насколько высока вероятность возможности избегания аварии с помощью конкретной системы автономного экстренного торможения (AEB, autonomous emergency braking). Для случаев, когда столкновение неизбежно, определяется вероятность конкретных сценариев столкновения, а затем определяется риск травм для них на основе моделирования столкновения с использованием моделей человеческого тела VIVA+ в сочетании с созданной метамоделью для усредненной модели мужчины и женщины. Кроме того, во время разработки

метода использовали типовую модель автомобиля, чтобы оценить преимущества безопасности системы АЕВ в сочетании с существующими методами пассивной безопасности. Авторы проанализировали результаты 61 914 сценариев столкновения автомобиля и пешехода. За счет внедрения АЕВ было достигнуто общее снижение риска аварий на 81,7%. В ходе моделирования определили, что риск получения ЧМТ и перелома диафиза бедренной кости у мужчин и женщин одинаков, в то время как среднестатистический мужчина имеет более высокий риск получения перелома черепа и более трех ребер по сравнению со среднестатистической женщиной. У среднестатистической женщины риск получения перелома проксимального отдела бедренной кости выше, чем у среднестатистического мужчины [27].

Заключение

На основе проанализированных результатов современных зарубежных исследований по тематике автомобильной травмы можно сделать вывод о том, что автомобильная травма является серьезной общемировой проблемой. Возможности применения современных технологий, в том числе компьютерного 3D-моделирования, являются актуальной и перспективной темой дальнейших научных исследований, которые имеют непосредственную практическую направленность, так как способствуют повышению качества и расширению возможностей судебно-медицинской экспертизы при ДТП, в том числе с участием пешеходов.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Список литературы

1. Malta DC, Morais Neto OL de, Cardoso LS de M, Veloso GA, Andrade FMD de, Vasconcelos AMN, Lima ChM de, Ribeiro ALP, Naghavi M. Road traffic injuries and deaths and the achievement of UN Sustainable Development Goals in Brazil: results from the Global Burden of Disease Study, 1990 to 2019. Rev Soc Bras Med Trop. 2022;55(suppl 1):e0261.; URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9038143/> (дата обращения: 29.09.2025).
2. Zewdie HY, Sarmiento OL, Pinzón JD, Wilches-Mogollon MA, Arbelaez PA, Baldovino-Chiquillo L, Hidalgo D, Guzman LA, Mooney SJ, Nguyen QC, Tasdizen T, Quistberg DA. Road Traffic Injuries and the Built Environment in Bogotá, Colombia, 2015-2019: A Cross-Sectional Analysis. J Urban Health. 2024 Apr 8.; URL: <https://perfilesycapacidades.javeriana.edu.co/en/publications/road-traffic-injuries-and-the-built-environment-in-bogot%C3%A1-colombi> (дата обращения: 29.09.2025).
3. Villaveces A, Sanhueza A, Henríquez Roldán CF, Escamilla-Cejudo JA, Rodrigues EMS. Transport modes and road traffic mortality in the Americas: Deaths among pedestrian and motorcycle

users through the lifespan. *Int J Inj Contr Saf Promot.* 2021 Mar;28(1):103-112.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33491551/> (дата обращения: 29.09.2025).

4. Walugembe F, Levira F, Ganesh B, Lwetoijera DW. A retrospective study on the epidemiology and trends of road traffic accidents, fatalities and injuries in three Municipalities of Dar es Salaam Region, Tanzania between 2014-2018. *Pan Afr Med J.* 2020;36:24.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32774601/> (дата обращения: 29.09.2025).

5. Värnild A, Tillgren P, Larm P. Factors related to the increasing number of seriously injured cyclists and pedestrians in a Swedish urban region 2003-17. *J Public Health (Oxf).* 2020 May 26;42(2):e158-164.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31211391/> (дата обращения: 29.09.2025).

6. Amin K, Skyving M, Bonander C, Krafft M, Nilson F. Fall- and collision-related injuries among pedestrians in road traffic environment – A Swedish national register-based study. *J Safety Res.* 2022 Jun;81:153-165.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35589286/> (дата обращения: 29.09.2025).

7. Temizel S, Wunderlich R, Leifels M. Characteristics and Injury Patterns of Road Traffic Injuries in Urban and Rural Uganda-A Retrospective Medical Record Review Study in Two Hospitals. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Jul 19;18(14):7663.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34300111/> (дата обращения: 29.09.2025).

8. Schwartz N, Buliung R, Daniel A, Rothman L. Disability and pedestrian road traffic injury: A scoping review. *Health Place.* 2022 Sep;77:102896.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36037674/> (дата обращения: 29.09.2025).

9. Grindle D, Balubaid A, Untaroioi C. Investigation of traffic accidents involving seated pedestrians using a finite element simulation-based approach. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2023 Mar;26(4):484-497.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35507427/> (дата обращения: 29.09.2025).

10. He JY, Xiao WX, Schwebel DC, Zhu MT, Ning PS, Li L, Cheng XJ, Hua JJ, Hu GQ. Road traffic injury mortality and morbidity by country development status, 2011-2017. *Chin J Traumatol.* 2021 Mar;24(2):88-93.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33526264/> (дата обращения: 29.09.2025).

11. Timmermans C, Alhajyaseen W, Al Mamun A, Wakjira T, Qasem M, Almallah M, Younis H. Analysis of road traffic crashes in the State of Qatar. *Int J Inj Contr Saf Promot.* 2019 Sep;26(3):242-250.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31132963/> (дата обращения: 29.09.2025).

12. Bergsten EL, Kjeldgård L, Stigson H, Farrants K, Friberg E. Fall and collision related injuries among pedestrians, sickness absence and associations with accident type and occupation. *J Safety*

Res. 2023 Sep;86:357-363.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37718063/> (дата обращения: 29.09.2025).

13. Azami-Aghdash S, Aghaei MH, Sadeghi-Bazarghani H. Epidemiology of Road Traffic Injuries among Elderly People; A Systematic Review and Meta-Analysis. *Bull Emerg Trauma*. 2018 Oct;6(4):279-291.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30402515/> (дата обращения: 29.09.2025).

14. Duan A, Zhou M, Qiu J, Feng C, Yin Z, Li K. A 6-year survey of road traffic accidents in Southwest China: Emphasis on traumatic brain injury. *J Safety Res*. 2020 Jun;73:161-169.; URL: <https://psycnet.apa.org/record/2020-46935-018> (дата обращения: 29.09.2025). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.02.010>

15. Cantillo V, Márquez L, Díaz CJ. An exploratory analysis of factors associated with traffic crashes severity in Cartagena, Colombia. *Accid Anal Prev*. 2020 Oct;146:105749.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32916551/> (дата обращения: 29.09.2025).

16. Wang K, Feng X, Li H, Ren Y. Exploring Influential Factors Affecting the Severity of Urban Expressway Collisions: A Study Based on Collision Data. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Jul 8;19(14):8362.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35886211/> (дата обращения: 29.09.2025).

17. Wang K, Zhang W, Jin L, Feng Z, Zhu D, Cong H, Yu H. Diagnostic analysis of environmental factors affecting the severity of traffic crashes: From the perspective of pedestrian–vehicle and vehicle–vehicle collisions: *Traffic Injury Prevention*. 2022; 23(1):17-22.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34813406/> (дата обращения: 29.09.2025). DOI: 10.1080/15389588.2021.1995602 Vol 23 , No 1.

18. Khan NA, Habib MA. Exploring the impacts of built environment on pedestrian injury severity involving distracted driving. *J Safety Res*. 2022 Feb;80:97-108.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35249632/> (дата обращения: 29.09.2025).

19. Fridman L, Pitt T, Rothman L, Howard A, Hagel B. Driver and road characteristics associated with child pedestrian injuries. *Accid Anal Prev*. 2019 Oct;131:248–253.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31336312/> (дата обращения: 29.09.2025).

20. Pak W, Grindle D, Untaroiu C. The Influence of Gait Stance and Vehicle Type on Pedestrian Kinematics and Injury Risk. *J Biomech Eng*. 2021 Oct 1;143(10):101007.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34008836/> (дата обращения: 29.09.2025).

21. Gunasekaran K, Ul Islam S, Mao H. Understanding Head Injury Risks During Car-to-Pedestrian Collisions Using Realistic Vehicle and Detailed Human Body Models. *Stapp Car Crash J*. 2022 Nov;66:175-205.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37733825/> (дата обращения: 29.09.2025).

22. Li G, Wang F, Otte D, Simms C. Characteristics of pedestrian head injuries observed from real world collision data. *Accid Anal Prev.* 2019 Aug;129:362-366.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31130209/> (дата обращения: 29.09.2025).
23. Elalouf A, Birfir S, Rosenbloom T. Developing machine-learning-based models to diminish the severity of injuries sustained by pedestrians in road traffic incidents. *Heliyon.* 2023 Nov;9(11):e21371.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38027877/> (дата обращения: 29.09.2025).
24. Komol MMR, Hasan MM, Elhenawy M, Yasmin S, Masoud M, Rakotonirainy A. Crash severity analysis of vulnerable road users using machine learning. *PLoS One.* 2021;16(8):e0255828. ; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34352026/> (дата обращения: 29.09.2025).
25. Dong S, Khattak A, Ullah I, Zhou J, Hussain A. Predicting and Analyzing Road Traffic Injury Severity Using Boosting-Based Ensemble Learning Models with SHAPley Additive exPlanations. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Mar 2;19(5):2925.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35270617/> (дата обращения: 29.09.2025).
26. Wang J, Li Z, Ying F, Zou D, Chen Y. Reconstruction of a real-world car-to-pedestrian collision using geomatics techniques and numerical simulations. *J Forensic Leg Med.* 2022 Oct;91:102433. ; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36179544/> (дата обращения: 29.09.2025).
27. Panday P, Vikram A, Chawla A, Mukherjee S. Prediction of lower extremity injuries in car-pedestrian crashes – real-world accident study. *Traffic Inj Prev.* 2021;22(2):173-176.; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33528273/> (дата обращения: 29.09.2025).