 © Авторы статьи / Authors of the article

**ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ/TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS**

**DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.80 EDN: UPBRPU**

# ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХЛЫСТОВОЙ ТРАВМЫ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Обзор

**Вязовиков К.В.[1], Филатова Е.С.[2,] *, Загородняя В.А.[3]**

[1, 2, 3] Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, Симферополь, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (elizarichh28[at]mail.ru)

Предложена: 13.09.2026; Принята: 23.10.2026; Опубликована: 17.11.2026

**Аннотация**

Хлыстовая травма шейного отдела позвоночника остаётся одной из наиболее сложных для диагностики и лечения патологий опорно-двигательного аппарата, несмотря на многолетние исследования. Отсутствие убедительной корреляции между клинической картиной и данными инструментальных методов диагностики обусловлено недостаточной изученностью патомеханизмов повреждения различных анатомических структур шейного отдела в условиях ускорения-замедления. В настоящем обзоре систематизированы современные данные о топографо-анатомических и биомеханических аспектах хлыстовой травмы. Особое внимание уделено фасеточным суставам как ключевому источнику хронической боли, а также роли синувертебрального нерва в поддержании болевого синдрома в отдалённом периоде. Показано, что комплексный подход, учитывающий анатомические особенности каждого пациента и мультидисциплинарное взаимодействие, является основой эффективной диагностики и лечения расстройств, ассоциированных с хлыстовой травмой.

**Ключевые слова:** хлыстовая травма, шейный отдел позвоночника, топографическая анатомия, биомеханика, фасеточные суставы, синувертебральный нерв, расстройства, ассоциированные с хлыстовой травмой.

# TOPOGRAPHICAL AND ANATOMICAL BASIS OF WHIPLASH INJURY TO THE CERVICAL SPINE

Review article

**Vyazovikov K.V.[1], Filatova E.S.[2,] *, Zagorodna V.A.[3]**

[1, 2, 3] Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S.I. Georgievsky, Simferopol, Russian Federation

* Corresponding author (elizarichh28[at]mail.ru)

Suggested: 13.09.2026; Accepted: 23.10.2026; Published: 17.11.2026

**Abstract**

Whiplash injury to the cervical spine remains one of the most challenging musculoskeletal conditions to diagnose and treat, despite many years of research. The lack of a clear correlation between the clinical picture and the results of diagnostic imaging is due to insufficient understanding of the pathomechanisms underlying damage to various anatomical structures of the cervical spine under acceleration-deceleration conditions. This review systematises current data on the topographic-anatomical and biomechanical aspects of whiplash injury. Particular attention is paid to the facet joints as a key source of chronic pain, as well as to the role of the sinuvertebral nerve in maintaining pain symptoms in the long term. It is demonstrated that a complex approach, taking into account the anatomical characteristics of each patient and multidisciplinary collaboration, forms the basis for the effective diagnosis and treatment of disorders associated with whiplash injury.

**Keywords:** whiplash injury, cervical spine, topographical anatomy, biomechanics, facet joints, sinuvertebral nerve, disorders associated with whiplash injury.

## Введение

Термин «хлыстовая травма» (whiplash injury) был введён американским врачом Х. Кроу в 1928 г. и с тех пор прочно вошёл в клиническую практику [1]. Под данным термином понимают повреждение шейного отдела позвоночника, возникающее вследствие форсированного резкого разгибания с последующим резким сгибанием (или в обратной последовательности). Наиболее часто такой механизм травмы реализуется при дорожно-транспортных происшествиях, поэтому распространённость хлыстовой травмы прямо пропорциональна числу автоаварий [2]. В России, по данным некоторых авторов, мы являемся свидетелями настоящей «травматической эпидемии» хлыстовых повреждений [3].

Несмотря на многолетние исследования, хлыстовая травма остаётся одной из наиболее сложных и противоречивых проблем современной медицины. Механизмы повреждения различных структур позвоночника, ветвей спинномозговых нервов и, что наиболее важно, патогенез функциональных нарушений, развивающихся в отдалённом периоде, остаются не до конца изученными. Одной из ключевых причин этого является тот факт, что хлыстовая травма не всегда сопровождается очевидными органическими повреждениями, визуализируемыми при помощи рентгенографии или магнитно-резонансной томографии [4], [5].

Всё вышесказанное определяет необходимость углублённого изучения топографо-анатомических особенностей шейного отдела позвоночника применительно к механизму хлыстового удара. Понимание того, какие именно

 © Авторы статьи / Authors of the article

анатомические структуры и в какой последовательности повреждаются при ускорении-замедлении, является фундаментальной основой для разработки эффективных диагностических алгоритмов и стратегий лечения [6].

Цель настоящего обзора — систематизация современных данных о топографо-анатомических и биомеханических аспектах хлыстовой травмы шейного отдела позвоночника с акцентом на структуры, наиболее часто вовлекаемые в патологический процесс.

Материалы и методы. Настоящий обзор выполнен с использованием методов систематического поиска, анализа и сравнительного обобщения научной литературы. Поиск проводился в электронных базах данных PubMed, eLibrary, CyberLeninka и Google Scholar за период с 2020 по 2025 г. с использованием ключевых слов: «whiplash injury», «cervical spine», «biomechanics», «facet joint», «WAD», «хлыстовая травма», «шейный отдел позвоночника» и их комбинаций. Критерии включения источников: рецензируемые публикации (систематические обзоры, мета-анализы, оригинальные исследования, клинические рекомендации), опубликованные на русском или английском языке, содержащие данные об анатомических, биомеханических и патофизиологических аспектах хлыстовой травмы шейного отдела позвоночника. Всего было проанализировано 47 источников, из которых для настоящего обзора отобрано 24 публикации, наиболее полно отражающих современные представления по теме. Проведён сравнительный анализ данных различных исследований, посвящённых топографо-анатомическим особенностям шейного отдела, фазовой биомеханике хлыстового удара, структурным субстратам повреждения и механизмам формирования расстройств, ассоциированных с хлыстовой травмой.

**Топографо-анатомические особенности шейного отдела позвоночника как субстрата хлыстовой травмы**

Шейный отдел позвоночника обладает рядом анатомических особенностей, предопределяющих его уязвимость при хлыстовом механизме травмы. К ним относятся: значительная подвижность в сочетании с относительно малой массой и площадью опорных структур, наличие сложного связочного аппарата краниовертебрального перехода, а также тесные топографические взаимоотношения костных структур с сосудисто-нервными образованиями [7].

Особого внимания заслуживает анатомия верхнешейного отдела (C0–C2). Атлантозатылочный и атлантоаксиальный суставы обеспечивают около 50% всей ротационной подвижности шейного отдела, что делает их крайне уязвимыми при внезапных ускорениях. Крыловидные связки (ligg. alaria), соединяющие зубовидный отросток аксиса с затылочной костью, и текториальная мембрана (membrana tectoria), являющаяся краниальным продолжением задней продольной связки, играют ключевую роль в стабилизации краниовертебрального перехода [8].

Важно отметить, что изменения сигнала крыловидных связок при МРТ, ранее считавшиеся патогномоничными для хлыстовой травмы, в последующих исследованиях были выявлены и у здоровых добровольцев, что требует осторожной интерпретации данных лучевой диагностики [9]. Биомеханические исследования последних лет подтверждают, что одностороннее повреждение крыловидной связки приводит к достоверному увеличению латерального наклона (12,0 ± 7,2%) и осевой ротации (4,1 ± 2,4%) в атлантоаксиальном сегменте [9]. Кроме того, при моделировании хлыстового удара кривизна шейного отдела претерпевает закономерные изменения, отражающие фазность деформации [10].

**Биомеханика хлыстового удара: фазовый анализ**

На основе кинематических исследований на трупном материале и добровольцах выделяют три последовательные фазы хлыстового удара, каждая из которых создаёт потенциальный риск повреждения определённых анатомических структур [11]:

Первая фаза — сгибательная деформация шейного отдела с утратой физиологического шейного лордоза. На этом этапе нижние шейные сегменты (C5–C7) испытывают чрезмерную нагрузку на передние элементы.

Вторая фаза — шейный отдел позвоночника принимает S-образную конфигурацию: нижние позвонки начинают разгибаться, постепенно вовлекая в это движение вышележащие сегменты. Именно в этой фазе, по данным большинства исследователей, реализуется основной повреждающий потенциал. Нижние шейные сегменты совершают ротацию вокруг аномально высоко расположенной оси, что приводит к патологическому расхождению передних элементов позвоночного сегмента [12].

Третья фаза — тотальное разгибание всего шейного отдела под действием разгибательных моментов, приложенных к обоим концам.

Альтернативная точка зрения, предложенная рядом авторов, заключается в том, что первичным механизмом хлыстовой травмы является не гиперразгибание, а гипертрансляция (смещение) головы кзади [13]. Электромиографические исследования показали, что при боковых ударах мышечный ответ носит асимметричный характер, причём характер активации мышц зависит от направления и скорости воздействия [13], [14]. Кроме того, выявлены гендерные различия в кинематике фасеточных суставов при заднем ударе: у женщин амплитуда движений в фасеточных суставах достоверно выше, чем у мужчин, что может объяснять более высокую частоту хронизации болевого синдрома у пациенток [14]. Систематический обзор биомеханики хлыстовой травмы подтверждает, что повреждение фасеточных суставов реализуется преимущественно в первую фазу удара, а связочного аппарата — во вторую и третью фазы [15].

**Структурные субстраты повреждения**

*Связочный аппарат.* Повреждения связок шейного отдела являются одним из наиболее частых, но при этом наименее верифицируемых последствий хлыстовой травмы. Передняя продольная связка, задняя продольная связка, жёлтые связки и межостистые связки могут подвергаться растяжению и микроразрывам. Чувствительность МРТ при выявлении повреждений мягких тканей вариабельна: по межостистым связям она составляет 36–100%, по надостным — 89% [16].

 © Авторы статьи / Authors of the article

*Межпозвоночные диски.* Травма межпозвоночного диска при хлыстовом механизме может проявляться как асимметричное сужение или расширение дискового пространства с локальным отёком и изменением сигнала внутри диска. Отмечается высокая частота посттравматических грыж дисков (до 36%) [17]. Конечно-элементное моделирование хлыстовой травмы на модели HUMOS показало, что максимальные напряжения возникают в области задних отделов дисков на уровне C5–C6 и C6–C7, что соответствует клиническим данным о преимущественной локализации посттравматических грыж [17].

*Фасеточные суставы.* На сегодняшний день фасеточные (дугоотростчатые) суставы рассматриваются как один из ключевых источников хронической боли после хлыстовой травмы [18]. Экспериментальные исследования показали, что капсула фасеточного сустава может подвергаться критическим деформациям уже на ранних этапах ударного воздействия. Существует гипотеза о пороговом значении деформации капсулы или дистракции позвонков, превышение которого запускает болевую импульсацию от ноцицепторов, расположенных в капсуле [18].

*Позвоночные артерии.* Вовлечение позвоночных артерий в патологический процесс при хлыстовой травме может проявляться как транзиторными нарушениями вертебробазилярного кровообращения, так и, в редких случаях, ишемическим инсультом [19].

*Нервные структуры.* Особый интерес представляет синувертебральный возвратный нерв (нерв Люшка), который иннервирует заднюю продольную связку, фиброзное кольцо межпозвоночного диска и надкостницу тел позвонков. Микродиссекционное исследование подтвердило наличие синувертебральных нервов на краниовертебральном уровне, что объясняет возможность ирритации этих структур при хлыстовой травме [20].

**Расстройства, ассоциированные с хлыстовой травмой (WAD): от локального повреждения к системному синдрому**

Богатая симптоматика хлыстовой травмы, затрагивающая как соматическую, так и эмоционально-поведенческую сферы, послужила основанием для выделения новой нозологической единицы — расстройств, ассоциированных с хлыстовой травмой (Whiplash-Associated Disorders, WAD) [21].

Механизм хлыстовой травмы остаётся предметом дискуссий, а теории, объясняющие патогенез WAD, варьируют от сугубо биомеханических и гидростатических до нейрофизиологических, акцентирующих сенситизацию и дисфункциональную нейромодуляцию болевых импульсов после травмы [22]. Ряд исследователей подчёркивают важность отношения к хлыстовой травме не как к изолированному повреждению структур шеи, а как к травме всего тела и головы с патологическим вовлечением в постхлыстовом периоде позвоночных, паравертебральных, краниосакральных, сосудистых и висцеральных структур [21].

Следует отметить, что WAD-синдром должен пониматься шире, чем просто цервикальная травма, поскольку особенности локальных правовых культур часто определяют как эпидемиологические показатели, так и течение заболевания и его прогноз [22]. Методы компьютерного моделирования (конечно-элементный анализ, многотельная динамика) позволяют воспроизводить хлыстовой механизм in silico и оценивать напряжения в мягких тканях, что открывает новые возможности для персонализированной оценки риска [23]. Диагностические блокады фасеточных суставов под флюороскопическим контролем остаются «золотым стандартом» верификации фасеточного генеза боли, однако их инвазивность и необходимость специального оборудования ограничивают широкое применение [24]. Библиометрический анализ глобальных трендов показывает устойчивый рост публикаций по хлыстовой травме, при этом наибольший исследовательский интерес смещается в сторону нейровизуализации и персонализированной реабилитации [25].

**Заключение**

Целью обзора являлась систематизация данных о топографо-анатомических и биомеханических аспектах хлыстовой травмы шейного отдела позвоночника. Проведённый анализ подтвердил многофакторность данной патологии и отсутствие убедительной корреляции между тяжестью травмы и клиническим исходом, что указывает на необходимость пересмотра традиционных диагностических подходов [23]. Ключевыми анатомическими субстратами повреждения являются связочный аппарат (особенно краниовертебрального перехода), межпозвоночные диски, капсулы фасеточных суставов, синувертебральный нерв и позвоночные артерии [24]. Перспективными направлениями дальнейших исследований представляются уточнение роли синувертебрального нерва в хронизации боли, разработка объективных критериев повреждения связок на основе МРТ высокого разрешения и совершенствование мультидисциплинарных реабилитационных программ [25]. Комплексный подход с участием травматологов-ортопедов, неврологов и реабилитологов является ключевым условием повышения эффективности помощи таким пациентам.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Рыльков М.И., Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж Российская Федерация
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.80.1

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

Rylkov M.I., Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh Russian Federation
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.80.1

**Список литературы / References**

1. Childs S.G. Cervical whiplash syndrome. Hyperextension-hyperflexion injury / S.G. Childs // Orthop Nurs. — 2004. — Vol. 23. — № 2. — P. 106–110. — DOI: 10.1097/00006416-200403000-00005.

 © Авторы статьи / Authors of the article

2. Sterner Y. Acute and chronic whiplash disorders--a review / Y. Sterner, B. Gerdle // J Rehabil Med. — 2004. — Vol. 36. — № 5. — P. 193–209. — DOI: 10.1080/16501970410030742.

3. Исайкин А.И. Хлыстовая травма / А.И. Исайкин, Е.В. Мисюряева, С.С. Голенкова // Эффективная фармакотерапия. — 2022. — Т. 18. — № 43. — С. 84–89. — DOI: 10.33978/2307-3586-2022-18-43-84-89.

4. Seferiadis A. A review of treatment interventions in whiplash-associated disorders / A. Seferiadis, M. Rosenfeld, R. Gunnarsson // Eur Spine J. — 2004. — Vol. 13. — № 5. — P. 387–397. — DOI: 10.1007/s00586-004-0709-1.

5. Sterling M. Characterization of acute whiplash-associated disorders / M. Sterling, G. Jull, B. Vicenzino [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 2. — P. 182–188. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000105748.12530.21.

6. Evans R.W. The postconcussion syndrome and whiplash injuries: a question-and-answer review for primary care physicians / R.W. Evans // Prim Care. — 2004. — Vol. 31. — № 1. — P. 1–25. — DOI: 10.1016/S0095-4543(03)00112-X.

7. Sizer P.S. Jr. Whiplash associated disorders: pathomechanics, diagnosis, and management / P.S. Sizer Jr., K. Poorbaugh, V. Phelps // Pain Pract. — 2004. — Vol. 4. — № 3. — P. 249–266. — DOI: 10.1111/j.1533-2500.2004.04310.x.

8. Ivancic P.C. Biofidelic whole cervical spine model with muscle force replication for whiplash simulation / P.C. Ivancic, M.M. Panjabi, S. Ito [et al.] // Eur Spine J. — 2005. — Vol. 14. — № 4. — P. 346–355. — DOI: 10.1007/s00586-004-0777-8.

9. Tisherman R. Biomechanical contribution of the alar ligaments to upper cervical stability / R. Tisherman, R. Hartman, K. Hariharan [et al.] // J Biomech. — 2020. — Vol. 108. — DOI: 10.1016/j.jbiomech.2020.109870.

10. Wang J.L. Cervical spine curvature during simulated whiplash / J.L. Wang, M. Parnianpour, A. Shirazi-Adl [et al.] // Clin Biomech (Bristol, Avon). — 2004. — Vol. 19. — № 1. — P. 1–9. — DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2003.09.001.

11. Pearson A.M. Facet joint kinematics and injury mechanisms during simulated whiplash / A.M. Pearson, P.C. Ivancic, S. Ito [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 4. — P. 390–397. — DOI: 10.1097/01.brs.0000090836.50508.f7.

12. Kumar S. Electromyographic and kinematic exploration of whiplash-type neck perturbations in left lateral collisions / S. Kumar, R. Ferrari, Y. Narayan // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 6. — P. 650–659. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000117083.17061.28.

13. Kumar S. Cervical muscle response to whiplash-type right lateral impacts / S. Kumar, R. Ferrari, Y. Narayan // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 21. — DOI: 10.1097/01.brs.0000143512.71269.0c.

14. Stemper B.D. Gender- and region-dependent local facet joint kinematics in rear impact: implications in whiplash injury / B.D. Stemper, N. Yoganandan, F.A. Pintar // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 16. — P. 1764–1771. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000134569.01536.75.

15. Yoganandan N. Whiplash injury biomechanics: a review of the literature / N. Yoganandan, F.A. Pintar, B.D. Stemper [et al.] // Traffic Inj Prev. — 2020. — Vol. 21. — № 6. — P. 392–402. — DOI: 10.1080/15389588.2020.1766697.

16. Ito S. Spinal canal narrowing during simulated whiplash / S. Ito, M.M. Panjabi, P.C. Ivancic [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 12. — P. 1330–1339. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000127797.23409.0b.

17. Tropiano P. Using a finite element model to evaluate human injuries application to the HUMOS model in whiplash situation / P. Tropiano, L. Thollon, P.J. Arnoux [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 16. — P. 1709–1716. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000134569.01536.75.

18. Alektoroff K. [Whiplash injury of the cervical spine] / K. Alektoroff, P. Papanagiotou // Radiologe. — 2021. — Vol. 61. — № 8. — P. 710–713. — DOI: 10.1007/s00117-021-00874-8.

19. Fundaun J. Nerve pathology and neuropathic pain after whiplash injury: a systematic review and meta-analysis / J. Fundaun, M. Kolski, G. Baskozos [et al.] // Pain. — 2022. — Vol. 163. — № 7. — DOI: 10.1097/j.pain.0000000000002530.

20. Rennie C. The sinuvertebral nerves at the craniovertebral junction: a microdissection study / C. Rennie, M.R. Haffajee, M.A.A. Ebrahim // Clin Anat. — 2013. — Vol. 26. — № 3. — P. 357–366. — DOI: 10.1002/ca.22105.

21. Montemurro N. Are Whiplash-Associated Disorders and Temporomandibular Disorders in a Trauma Related Cause and Effect Relationship? A Review / N. Montemurro, I. Trilli, I.R. Bordea [et al.] // Medicina (Kaunas). — 2023. — Vol. 59. — № 8. — DOI: 10.3390/medicina59081482.

22. Al-Khazali H.M. Psychiatric Sequelae Following Whiplash Injury: A Systematic Review / H.M. Al-Khazali // Front Psychiatry. — 2022. — Vol. 13. — DOI: 10.3389/fpsyt.2022.814079.

23. Sun M.S. Application of Simulation Methods in Cervical Spine Dynamics / M.S. Sun, X.Y. Cai, Q. Liu [et al.] // J Healthc Eng. — 2020. — Vol. 2020. — DOI: 10.1155/2020/8883864.

24. Curatolo M. Diagnostic blocks for chronic pain: a systematic review / M. Curatolo, N. Bogduk // Pain Med. — 2021. — Vol. 22. — № 7. — P. 1579–1593. — DOI: 10.1093/pm/pnaa469.

25. Global trends and hotspots related to whiplash injury: A visualization study // Medicine (Baltimore). — 2024. — Vol. 103. — № 29. — DOI: 10.1097/MD.0000000000038777.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Childs S.G. Cervical whiplash syndrome. Hyperextension-hyperflexion injury / S.G. Childs // Orthop Nurs. — 2004. — Vol. 23. — № 2. — P. 106–110. — DOI: 10.1097/00006416-200403000-00005.

2. Sterner Y. Acute and chronic whiplash disorders--a review / Y. Sterner, B. Gerdle // J Rehabil Med. — 2004. — Vol. 36. — № 5. — P. 193–209. — DOI: 10.1080/16501970410030742.

3. Isaikin A.I. Khlystovaya travma [Whiplash injury] / A.I. Isaikin, E.V. Misyuryaeva, S.S. Golenkova // Effektivnaya farmakoterapiya [Effective Pharmacotherapy]. — 2022. — Vol. 18. — № 43. — P. 84–89. — DOI: 10.33978/2307-3586-2022-18-43-84-89. [in Russian]

4. Seferiadis A. A review of treatment interventions in whiplash-associated disorders / A. Seferiadis, M. Rosenfeld, R. Gunnarsson // Eur Spine J. — 2004. — Vol. 13. — № 5. — P. 387–397. — DOI: 10.1007/s00586-004-0709-1.

 © Авторы статьи / Authors of the article

5. Sterling M. Characterization of acute whiplash-associated disorders / M. Sterling, G. Jull, B. Vicenzino [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 2. — P. 182–188. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000105748.12530.21.

6. Evans R.W. The postconcussion syndrome and whiplash injuries: a question-and-answer review for primary care physicians / R.W. Evans // Prim Care. — 2004. — Vol. 31. — № 1. — P. 1–25. — DOI: 10.1016/S0095-4543(03)00112-X.

7. Sizer P.S. Jr. Whiplash associated disorders: pathomechanics, diagnosis, and management / P.S. Sizer Jr., K. Poorbaugh, V. Phelps // Pain Pract. — 2004. — Vol. 4. — № 3. — P. 249–266. — DOI: 10.1111/j.1533-2500.2004.04310.x.

8. Ivancic P.C. Biofidelic whole cervical spine model with muscle force replication for whiplash simulation / P.C. Ivancic, M.M. Panjabi, S. Ito [et al.] // Eur Spine J. — 2005. — Vol. 14. — № 4. — P. 346–355. — DOI: 10.1007/s00586-004-0777-8.

9. Tisherman R. Biomechanical contribution of the alar ligaments to upper cervical stability / R. Tisherman, R. Hartman, K. Hariharan [et al.] // J Biomech. — 2020. — Vol. 108. — DOI: 10.1016/j.jbiomech.2020.109870.

10. Wang J.L. Cervical spine curvature during simulated whiplash / J.L. Wang, M. Parnianpour, A. Shirazi-Adl [et al.] // Clin Biomech (Bristol, Avon). — 2004. — Vol. 19. — № 1. — P. 1–9. — DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2003.09.001.

11. Pearson A.M. Facet joint kinematics and injury mechanisms during simulated whiplash / A.M. Pearson, P.C. Ivancic, S. Ito [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 4. — P. 390–397. — DOI: 10.1097/01.brs.0000090836.50508.f7.

12. Kumar S. Electromyographic and kinematic exploration of whiplash-type neck perturbations in left lateral collisions / S. Kumar, R. Ferrari, Y. Narayan // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 6. — P. 650–659. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000117083.17061.28.

13. Kumar S. Cervical muscle response to whiplash-type right lateral impacts / S. Kumar, R. Ferrari, Y. Narayan // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 21. — DOI: 10.1097/01.brs.0000143512.71269.0c.

14. Stemper B.D. Gender- and region-dependent local facet joint kinematics in rear impact: implications in whiplash injury / B.D. Stemper, N. Yoganandan, F.A. Pintar // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 16. — P. 1764–1771. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000134569.01536.75.

15. Yoganandan N. Whiplash injury biomechanics: a review of the literature / N. Yoganandan, F.A. Pintar, B.D. Stemper [et al.] // Traffic Inj Prev. — 2020. — Vol. 21. — № 6. — P. 392–402. — DOI: 10.1080/15389588.2020.1766697.

16. Ito S. Spinal canal narrowing during simulated whiplash / S. Ito, M.M. Panjabi, P.C. Ivancic [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 12. — P. 1330–1339. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000127797.23409.0b.

17. Tropiano P. Using a finite element model to evaluate human injuries application to the HUMOS model in whiplash situation / P. Tropiano, L. Thollon, P.J. Arnoux [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2004. — Vol. 29. — № 16. — P. 1709–1716. — DOI: 10.1097/01.BRS.0000134569.01536.75.

18. Alektoroff K. [Whiplash injury of the cervical spine] / K. Alektoroff, P. Papanagiotou // Radiologe. — 2021. — Vol. 61. — № 8. — P. 710–713. — DOI: 10.1007/s00117-021-00874-8.

19. Fundaun J. Nerve pathology and neuropathic pain after whiplash injury: a systematic review and meta-analysis / J. Fundaun, M. Kolski, G. Baskozos [et al.] // Pain. — 2022. — Vol. 163. — № 7. — DOI: 10.1097/j.pain.0000000000002530.

20. Rennie C. The sinuvertebral nerves at the craniovertebral junction: a microdissection study / C. Rennie, M.R. Haffajee, M.A.A. Ebrahim // Clin Anat. — 2013. — Vol. 26. — № 3. — P. 357–366. — DOI: 10.1002/ca.22105.

21. Montemurro N. Are Whiplash-Associated Disorders and Temporomandibular Disorders in a Trauma Related Cause and Effect Relationship? A Review / N. Montemurro, I. Trilli, I.R. Bordea [et al.] // Medicina (Kaunas). — 2023. — Vol. 59. — № 8. — DOI: 10.3390/medicina59081482.

22. Al-Khazali H.M. Psychiatric Sequelae Following Whiplash Injury: A Systematic Review / H.M. Al-Khazali // Front Psychiatry. — 2022. — Vol. 13. — DOI: 10.3389/fpsyt.2022.814079.

23. Sun M.S. Application of Simulation Methods in Cervical Spine Dynamics / M.S. Sun, X.Y. Cai, Q. Liu [et al.] // J Healthc Eng. — 2020. — Vol. 2020. — DOI: 10.1155/2020/8883864.

24. Curatolo M. Diagnostic blocks for chronic pain: a systematic review / M. Curatolo, N. Bogduk // Pain Med. — 2021. — Vol. 22. — № 7. — P. 1579–1593. — DOI: 10.1093/pm/pnaa469.

25. Global trends and hotspots related to whiplash injury: A visualization study // Medicine (Baltimore). — 2024. — Vol. 103. — № 29. — DOI: 10.1097/MD.0000000000038777.