

«БОЛЕВЫЕ ТОЧКИ» СОТРЯСЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ

С. О. Ключников¹, В. С. Фещенко^{1,2}, А. В. Жолинский¹, М. С. Тарасова¹✉, А. В. Сливин², П. В. Ефимов²¹ Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия² Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

Проведенные в последние десятилетия многочисленные исследования позволили получить большой объем научной информации по проблемам, связанным со спорт-ассоциированными сотрясениями головного мозга. В обзоре сделан анализ мировых данных о сотрясении головного мозга при занятиях спортом детей и юных спортсменов. Обсуждены «болевые точки» проблемы, к которым авторы относят сложные и нерешенные вопросы по критериям диагностики, применению современных методов нейровизуализации и перспективных биомаркеров с учетом новых научных данных о патофизиологических механизмах сотрясений головного мозга. Большое внимание уделено описанию физиологических особенностей детей и подростков и предрасполагающих факторов, значимых как для диагностики, так и для тактики ведения при возникновении этого состояния. Сформулированы актуальные задачи, решение которых необходимо для совершенствования практики спортивной медицины при сотрясении головного мозга у спортсменов детско-юношеского возраста.

Ключевые слова: спорт высших достижений, сотрясение головного мозга, детско-юношеский спорт

Финансирование: статья подготовлена в рамках прикладной научно-исследовательской работы «Клинико-прогностическое значение особенностей нейрометаболического каскада для развития отсроченных осложнений гипоксических и травматических повреждений мозга у спортсменов» (шифр темы: «Нейрокаскад-20», код темы: 76.35.41), выполненной ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России по государственному заданию на 2020–2021 год.

Вклад авторов: С. О. Ключников — поиск и анализ источников, написание текста; В. С. Фещенко — написание текста, общее редактирование; А. В. Жолинский — общее редактирование; М. С. Тарасова, А. В. Сливин, П. В. Ефимов — поиск и анализ источников.

✉ **Для корреспонденции:** Мария Сергеевна Тарасова
ул. Раевского, д. 4, 121151, г. Москва; tarasovams@sportfmba.ru

Статья получена: 20.07.2021 **Статья принята к печати:** 12.08.2021 **Опубликована онлайн:** 17.09.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.026

BRAIN CONCUSSION IN YOUNG ATHLETES: MAJOR PAIN POINTS

Klyuchnikov SO¹, Feshchenko VS^{1,2}, Zholinsky AV¹, Tarasova MS¹✉, Slivin AV², Efimov PV²¹ Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of FMBA, Moscow, Russia² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Numerous studies conducted in recent decades have generated vast amounts of knowledge on sport-related concussions. This review analyzes international data on pediatric and adolescent sport-related concussions. Drawing on the most recent research into the pathophysiology of brain concussions, the authors identify and discuss “pain points” associated with SRC, i.e. unsolved problems of diagnostic criteria, the use of modern neuroimaging modalities and promising biomarkers. Special attention is paid to the physiology of children and adolescents and predisposing factors important for developing adequate diagnostic and management strategies. The authors formulate problems that need to be solved in order to improve care for young athletes with brain concussions.

Keywords: elite athletes, brain concussion, youth sports

Funding: this review is part of the applied research study on the *Clinical and prognostic significance of neurometabolic cascade for the development of delayed complications of hypoxic and traumatic brain injuries in athletes* (Neurocascade-20, ID 76.35.41) conducted by the Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of FMBA under the State Assignment for years 2020–2021.

Author contribution: Klyuchnikov SO searched and analyzed the literature and contributed to writing the manuscript; Feshchenko VS contributed to writing the manuscript and edited the final version; Zholinsky AV edited the final version of the manuscript; Tarasova MS, Slivin AV, Efimov PV searched and analyzed the literature.

✉ **Correspondence should be addressed:** Maria S. Tarasova
Raevskogo, 4, 121151, Moscow; tarasovams@sportfmba.ru

Received: 20.07.2021 **Accepted:** 12.08.2021 **Published online:** 17.09.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.026

Многочисленные исследования, проведенные в последние десятилетия, и обсуждения их итогов на страницах ведущих журналов и на международных форумах позволяют утверждать, что накоплен значительный объем информации о проблемах, связанных со спорт-ассоциированными сотрясениями головного мозга (ССГМ). В целой серии систематических обзоров и метаанализов показана специфика данной травмы в зависимости от вида спорта, тренировочного периода, гендерных различий. Разработаны и предложены для практики различные методы диагностики, протоколы и юридические документы [1, 2]. Казалось бы, современные научные знания и высокий уровень медико-биологических технологий должны были позволить уже решить проблему ССГМ. Однако практические реалии свидетельствуют

о сохраняющихся сложных и нерешенных ее аспектах. Как это ни парадоксально, но сегодня у специалистов нет ни однозначных дефиниций, ни четких объективных критериев диагностики, ни вариантов тактики ведения ССГМ, в том числе учитывающих возрастные особенности юных спортсменов.

Минимальная симптоматика, отсутствие специфических жалоб, относительно короткий период клинического выздоровления без применения каких-либо лекарственных препаратов формируют достаточно распространенное, но ошибочное мнение о незначительном влиянии сотрясений головного мозга на здоровье детей и подростков, занимающихся спортом. Современные научные данные убедительно доказывают, что даже однократное ССГМ может оказывать негативное влияние на успеваемость

юниоров, тогда как при повторных травмах резко увеличивается риск снижения не только школьной успеваемости, но и профессиональной успешности [3]. Именно для детского возраста характерен высокий риск развития неблагоприятных отдаленных последствий, особенно при повторных ССГМ, произошедших на этапе восстановления после травмы [4; 5]. Уже только эти обстоятельства свидетельствуют об актуальности проблемы ССГМ у юных спортсменов, вызывающей у практикующих врачей по спортивной медицине многочисленные вопросы.

Один из первых таких вопросов — частота ССГМ. Традиционно цитируемые в специальной литературе статистические данные относятся, в силу масштабности сведений, к американским юным спортсменам, среди которых число случаев ССГМ достигает от 1,1 до 1,9 млн [6]. По другим данным, в США ежегодно число сотрясений достигает 1,6–3,8 млн, являясь после дорожно-транспортных происшествий второй по распространенности причиной травм головы [7]. При этом учитывают всех спортсменов, учащихся в школах и колледжах, а также принимают во внимание и так называемые рекреационные травмы, полученные не во время тренировок и соревнований. Наряду с этим материалы недавно опубликованных эпидемиологических отчетов свидетельствуют о значительном росте количества ССГМ, в частности, если в 2006 г. было зарегистрировано 569,4 ССГМ на 100 000 травм, то в 2012 г. — 807,9 на 100 000 травм [8]. Одной из вероятных, но не единственной причиной может быть повышенное в последние годы внимание к данному виду травм как у врачей, так и у тренеров, и у родителей, занимающихся спортом детей [9]. Существенное значение в увеличении роста регистрации числа ССГМ могут иметь юридические и даже социально-экономические факторы, роль которых обсуждалась в работах [10; 11].

Хотя хорошо известно, что около 70% травм приходится на возраст до 19 лет [12], тем не менее до недавнего времени ССГМ у детей, занимающихся спортом, считались несущественной проблемой. Приводились научные доводы, что подобные травмы хорошо компенсируются физиологическими и адаптивными ресурсами с редкими и/или незначительными долгосрочными негативными последствиями для организма [13]. Основанием для подобных выводов были итоги целого ряда клинических исследований, в которых лишь у небольшой доли детей были описаны явные клинические симптомы или проявления нейропсихологического дисбаланса [14].

Сегодня, благодаря реализации современных диагностических подходов, экспериментальных, клинко-функциональных и нейрофизиологических исследований головного мозга, становится все более очевидным, что используемые традиционные клинические оценки недостаточны для выявления и дифференциации тонких и гетерогенных патологических состояний, обусловленных ССГМ, особенно в детском возрасте. Накапливаются научные данные о том, что спорт-ассоциированные сотрясения головного мозга могут привести к значительным изменениям в организме детей и подростков, которые сохраняются длительно, даже после наступления периода клинического выздоровления. Оценивая ССГМ, большинство клиницистов ориентируются на итоги коммерческих тестов, например, ImPACT и SCAT, хотя и адаптированных для детского возраста. Отмечая несомненные преимущества этих тестов над

базовыми отчетами при оценке симптомов, результаты специальных исследований все же свидетельствуют об их недостаточной надежности и чувствительности не только для выявления ССГМ, но и для прогнозирования нарушений, формирующихся у детей и подростков в период после завершения острой фазы травмы [1; 15; 16].

Многие исследователи убедительно показали, что большая часть ССГМ у атлетов в любых возрастных группах даже не регистрируется. Среди значимых причин приводятся следующие: недостаточное внимание тренерского персонала к выявлению ССГМ, отсутствие соответствующей информации у самих спортсменов, сознательное искажение/занижение сведений спортсменами о своем здоровье из-за боязни быть отстраненными от спортивной деятельности и др. Например, от 40 до 76% юных атлетов пытаются скрыть свою травму [17], а по другим данным, до 80% юных регбистов или не сообщили о самом факте травмы, или вернулись к полноценным спортивным занятиям раньше завершения периода восстановления [18].

Частота возникновения ССГМ зависит от вида спорта. Наиболее травмоопасным является американский футбол. К видам спорта с высоким риском ССГМ относятся также лакросс, хоккей с шайбой, единоборства, сноуборд и некоторые другие, в первую очередь, контактные виды спорта [5].

Обсуждая вопросы патофизиологии сотрясения головного мозга, отметим, что данное состояние характеризуется временным нарушением функции нейронов, аксонов и сосудистой сети головного мозга, обусловленным ликвородинамическим ударом и ротационным механизмом, вызывая изменения нейротрансмиссии и нейрометаболизма. Могут наблюдаться и петехиальные кровоизлияния в окружающей Сильвиеву водопровода [19]. Проведенные в последние годы в разных странах исследования позволили прийти к детальному пониманию основных биокинетических механизмов, индуцирующих ССГМ. В первую очередь, к ним необходимо отнести силы «ускорения и замедления», при травмирующем воздействии, как правило, резко сменяющие друг друга, и вращение головы [20]. Считается, что ССГМ обычно возникают в результате непосредственного воздействия/удара в область головы. Целесообразно учитывать, что ССГМ также могут быть вызваны и ударом в другие участки тела с последующей иррадиацией [1]. Важным и возможно принципиальным условием являются слабые мышцы шеи, что характерно для женского пола, но особенно для детского возраста. По мнению ряда авторов, именно это обстоятельство значительно увеличивает риск ССГМ у детей, так как не гасится воздействующая на голову сила [21].

Именно резкие ускорительно-замедлительные движения головы у детей до 5-летнего возраста достаточно хорошо известны врачам-педиатрам как травматические факторы, нередко драматичного по своим последствиям, синдрома «встряхнутого ребенка» (в англоязычной литературе — *syndrome «Shaken Baby»*). Был введен специальный термин «*whiplash shaken infant syndrome*» — WSIS (синдром резкой встряски младенца), при диагностически важном сочетании симптомов, включающем кровоизлияние в сетчатку, субдуральное и/или субарахноидальное кровоизлияния и при незначительном повреждении черепа или даже без него [22].

Принципиально важно, что, в отличие от детей более старшего возраста, мозг детей раннего возраста

характеризуется целым рядом физиологических особенностей, предопределяющих последующую драматическую клиническую картину. Сочетание большого размера головы и слабых мышц шеи делает ребенка особенно уязвимым к воздействию ускорительно-замедлительных факторов при подобной травме. Имеют значение недостаточная миелинизация и высокая гидрофильность тканей мозга, характерные для этого возрастного периода. Оба эти условия существенно увеличивают риск возникновения такой травмы под воздействием ускорительно-замедлительных сил и ротационных движений головы [23].

Нарушение миелиновой оболочки обуславливает не только ухудшение проведения нервных импульсов, но и предопределяет большую уязвимость головного мозга при повторных воздействиях, что неоднократно доказано при гипоксически-ишемических повреждениях нервной ткани, в том числе при инсультах у взрослых. Это иллюстрируется данными целого ряда работ, в которых показано, что наличие в анамнезе спортсмена сотрясения головного мозга увеличивает риск повторного сотрясения в 2–5,8 раз [24; 25]. На значимость повторных ССГМ в генезе отдаленных негативных последствий и на характер выздоровления обращает внимание и экспертная группа [5].

Сотрясение головного мозга, представляя собой весьма гетерогенную группу патологических состояний, трактуется экспертами как минимальная черепно-мозговая травма. Происходящие при этом патофизиологические процессы и клинические проявления свидетельствуют о том, что каждое ССГМ уникально и характеризуется широкой палитрой симптомов и спектром их тяжести. Именно многоликая палитра проявлений, во многом совпадающая с другими заболеваниями, предопределяет сложности для диагностики этого состояния. Существенным является и тот факт, что применяемые на практике объективные методы нейровизуализации (МРТ и КТ) не фиксируют какие-либо патологические изменения в головном мозге при его сотрясении. Тем не менее эти методы необходимы для проведения дифференциальной диагностики и исключения иных нозологических форм со сходной клинической симптоматикой.

В последние десятилетия были предприняты неоднократные попытки детализировать и классифицировать симптомы ССГМ у спортсменов в разных видах спорта и разных возрастных группах. Все встречающиеся симптомы ССГМ можно отнести к нескольким группам: соматические, поведенческие и когнитивные.

К соматическим симптомам относятся: головная боль, головокружение, тошнота, рвота, нечеткость зрения, мелькание мушек перед глазами, нарушение равновесия, повышенная чувствительность к свету или шуму, звон в ушах.

К поведенческим и эмоциональным симптомам: нарушения сна, сонливость, общая слабость, повышенная утомляемость, раздражительность, тревожность, депрессия.

К когнитивным симптомам: трудности концентрации внимания и запоминания, ощущение «замедленности движений» и др. [26].

В систематическом обзоре экспертов были проанализированы описанные в многочисленных публикациях признаки, характерные для ССГМ [2]. В итоге авторы работы отметили следующие наиболее типичные и постоянные для спортсменов признаки этого состояния:

- наблюдаемая и задокументированная дезориентация/замешательство сразу после события;

- нарушение равновесия в течение суток после травмы;
- замедление времени реакции в течение двух суток после травмы; и/или

- нарушение вербального обучения и памяти в течение двух суток после травмы.

Технологические достижения в нейровизуализации обеспечили доступность к объективной оценке состояния головного мозга при травме, и, согласно современным трактовкам, к сотрясениям головного мозга должны относиться только те состояния, обусловленные биомеханическим воздействием, которые не сопровождаются структурными изменениями мозга. Однако в литературе опубликованы итоги исследований такими методами, как диффузионно-тензорная визуализация, свидетельствующие, что даже при минимальной ЧМТ и предполагаемом ССГМ выявляется микроструктурная патология (например, незначительные изменения целостности длинных трактов белого вещества, диапедезные кровоизлияния). Предполагается, что указанные микротрансформации могут быть признаком минимальной ЧМТ, при этом клиническое значение диагностируемых изменений пока остается неясным.

Тем не менее изучение функциональных связей мозга позволили предположить негативное влияние ССГМ и субконтузионных воздействий на коммуникацию нейронных сетей у юных спортсменов. При использовании метода диффузионно-тензорной визуализации [27] у спортсменов-подростков через шесть месяцев после перенесенного ССГМ обнаружено значительное увеличение фракционной анизотропии всего мозга, что свидетельствует об изменении миелинизации и плотности волокон [28]. В то же время несмотря на наличие у детей острых изменений целостности белого вещества (по уровню фракционной анизотропии) после травмы, через шесть месяцев их значения вернулись к нормальному диапазону [29]. Столь противоречивые данные, безусловно, затрудняют интерпретацию результатов и клиническую трактовку подобных изменений и диктуют необходимость проведения специальных научных изысканий.

Определенный интерес представляют результаты исследований нейрометаболизма при ССГМ. Описываются, правда, у взрослых спортсменов, увеличение количества глутамата [30], холина [31], креатина [32] и снижение уровня N-ацетиласпартата [32]. Указанные вещества выполняют важную роль в метаболизме мозга, а вариации в их экспрессии после ССГМ коррелируют с нейropsychологическими особенностями [33] и результатами при выполнении спортсменами экспериментальных задач [31]. Отметим, что только в нескольких работах изучались процессы нейрометаболизма у детей с ССГМ, и, в частности, было показано изменение метаболических соотношений по мере развития детей [34]. При использовании позитронно-эмиссионной томографии ученые подтвердили значительные функциональные сдвиги в метаболизме мозга у детей после ССГМ. Обнаружено, например, что первоначальное увеличение потребления глюкозы сменяется значительным снижением ее уровня [35].

В последнее время большой интерес к нейрометаболизму вызывают возможности применения биомаркеров для диагностики повреждений головного мозга. Убедительные научные данные и реализованные на практике диагностикумы показаны, например, при инсультах мозга. Получены и перспективные научные сведения о роли нейромаркеров при ЧМТ. В частности, установлено, что передача импульсов между нейронами

осуществляется путем изменения трансмембранного электрического потенциала с участием ионных каналов и глутаматных рецепторов. Последние участвуют в большинстве возбуждающих импульсов головного мозга и играют ключевую роль в обеспечении пластичности нейронов, процессах адаптации, обучения и формировании памяти [36].

В острой фазе ЧМТ или при повреждении аксонов происходит массивный выброс глутамата в синаптическую щель, который активирует возбуждающие AMPA-рецепторы. N-концевой домен AMPA-рецепторов быстро отщепляется внеклеточными протеазами и попадает в системный кровоток через нарушенный гемато-энцефалический барьер. Продукт деградации AMPA-рецепторов может выявляться в крови в виде AMPA-пептида. Изучение возможности определения уровня AMPA-пептида в крови в комплексной диагностике ССГМ, наряду с нейрокогнитивным тестированием и нейровизуализацией, было проведено в США в рамках исследования с участием 84 спортсменов, представляющих американский футбол. Было показано, что у спортсменов с сотрясениями снижались значения параметров визуальной памяти и индекса когнитивной эффективности при повышенных уровнях AMPA-пептида. В течение 1,5-летнего наблюдения за обследованными спортсменами выявлено, что из 33 только у 18 человек показатели AMPA-пептида снизились до значений, близких к нормальным, и это позволило им вернуться к полноценной спортивной деятельности [37].

В качестве возможных биомаркеров для детекции и оценки сотрясений головного мозга, кроме ассоциированных с глутаматом, предлагаются различные соединения: S100, глиальный фибриллярный кислый белок, нейротрофический фактор, креатинкиназы и некоторые другие. Однако целесообразность их применения при ССГМ, в том числе у юниоров, не подтверждена. По-прежнему актуальны работы по поиску объективных критериев как для диагностики сотрясений, так и мониторинга состояния спортсменов в период реабилитации после травмы и возвращения к активной спортивной деятельности.

Изучение нарушений цереброваскулярной реактивности дает возможность рассматривать этот феномен как один из патофизиологических механизмов при ССГМ у спортсменов. Установлено, что у молодых спортсменов с сотрясением головного мозга (возраст 16–22 года) происходит более медленное по сравнению со здоровыми людьми восстановление после состояний гипо- и гипервентиляции [38]. Наряду с этим при ССГМ диагностированы хронические изменения цереброваскулярной функции. Отмечено значительное снижение общего церебрального кровотока у детей в возрасте 11–15 лет более чем через месяц после полученной травмы [39]. У всех обследованных юниоров через две недели после травмы исчезали поведенческие симптомы, однако у 64% из них сохранялось изменение церебрального кровотока. Через 30 дней после травмы нейропсихологические тесты у всех детей соответствовали норме, хотя у 36% все еще регистрировалась цереброваскулярная дисфункция. Получены данные, свидетельствующие о длительном, до 12 месяцев, сохранении выраженной церебральной дисфункции при отсутствии клинических симптомов сотрясения и при нормальных результатах тестирования [40]. Эти данные наглядно иллюстрируют формирование у получившего

ССГМ юниора длительного «физиологически уязвимого периода», в течение которого повторное воздействие, вероятно, и не только биомеханическое, может привести к повышенному риску развития неблагоприятных отдаленных последствий [1].

Весьма перспективными представляются исследования нейроэлектрической функции мозга. Для выявления и характеристики нейрофизиологических изменений, обусловленных ССГМ, наибольшую чувствительность и специфичность демонстрирует метод «событийно-связанных вызванных потенциалов» (*event-related potentials*). Было показано, что у детей с сотрясением мозга наблюдаются изменения в показателях распределения ресурсов внимания, мониторинга действий и осведомленности об ошибках [41]. Даже один эпизод сотрясения мозга может привести к глубоким изменениям нейроэлектрической функции в процессе развития, обуславливая синдром дефицита внимания у детей, особенно при возникновении сложных когнитивных условий [42].

Вышеизложенные факты позволяют сформулировать следующее положение: ССГМ у детей может значительно влиять на их нейрофизиологические характеристики, что регистрируется различными современными диагностическими методами, однако нейроанатомические последствия травмы у них остаются не изученными. Несмотря на морфофункциональные особенности, у детей, как и у взрослых спортсменов, при ССГМ формируется определенная патофизиологическая картина, которая у значительной части обследованных проявляется в виде стойких изменений функциональных связей, церебрального кровотока и нейроэлектрической функции мозга.

Одним из значимых для исхода ССГМ факторов является возраст спортсмена. В серии исследований разных авторов показано, что дети восстанавливаются после травмы медленнее, чем взрослые [43; 44]. В лонгитюдных клинических исследованиях, свидетельствующих о достаточно оптимистичных исходах ССГМ, тем не менее установлено, что при травме у детей в возрасте до 10 лет значительно выше вероятность развития отдаленных осложненных последствий ССГМ [14; 45]. Авторы достаточно объемных клинических исследований пришли к выводу о необходимости выделения детей предпубертатного периода (до 10 лет) как отдельную возрастную группу с высоким риском стойких нейропсихологических и даже нейропсихиатрических нарушений. Однако и на протяжении всего пубертатного периода спортсмены должны быть под длительным и особым наблюдением, так как их темпы восстановления после ССГМ ниже, чем у взрослых [46; 47].

В определенной мере такая повышенная уязвимость юных атлетов обусловлена особенностями процессов миелинизации и формирования функциональных связей при все еще продолжающемся созревании и развитии фронтальных областей мозга [48; 49]. Хотя не все исследователи разделяют подобную точку зрения. В частности, группа из 11 экспертов под руководством F. P. Riva, проанализировав огромный массив публикаций за период с 1980 по 2018 г., пришла к заключению об отсутствии убедительных доказательств большей подверженности юных спортсменов к возникновению ССГМ по сравнению со взрослыми [5]. В то же время авторы данного экспертного соглашения единодушны в том, что качество исследований за прошедший период

времени существенно, если не принципиально, изменилось, обуславливая значительные трудности в сопоставлении и интерпретации итогов научных работ разных лет.

Гендерные особенности и их влияние на исход ССГМ традиционно остаются предметом многочисленных научных изысканий и дискуссий. Преобладание случаев ССГМ у девушек-спортсменок отмечено в целом ряде работ [50; 51], а также и в заключении экспертной группы [5]. Опубликованные данные, как правило, указывают не только на большую частоту и выраженность симптомов ССГМ, но и на более неблагоприятные исходы у спортсменок до 18 лет по сравнению с юношами [52; 53]. Одним из объяснений может быть, как отмечалось нами ранее, хорошо установленный физиологами факт слабой мускулатуры шеи у девушек, что, несомненно, делает их наиболее уязвимыми при биомеханических воздействиях [54]. Но при этом стоит учитывать и более внимательное отношение к себе у девушек и оперативное информирование медицинского и тренерского штата при появлении соответствующей симптоматики [55]. Справедливости ради отметим, что слабость мускулатуры шеи типично для детского возраста, поэтому некоторые специалисты видят необходимость для профилактики травматизма в занятиях и тренировках, специально разработанных для укрепления мышечного каркаса шеи. Однако в доступной нам литературе мы не обнаружили специальных исследований по сравнению с учетом возраста частоты возникновения и тяжести последствий ССГМ у спортсменов и не занимающихся спортом.

Заключение

Таким образом, сотрясения головного мозга, ассоциированные с занятиями спортом, у детей и

подростков представляют актуальную проблему, как для науки, так и для практики спортивной медицины. Новейшие исследования свидетельствуют о значимых трансформациях, возникающих в организме юных спортсменов в результате ССГМ, что требует совершенствования диагностических подходов и лечебно-профилактических мероприятий. Актуальными и нерешенными в настоящее время вопросами, на наш взгляд, являются:

- разработка методов диагностики ССГМ и оценки динамики функционального состояния головного мозга, учитывающие возрастные особенности юных спортсменов, на основе современных диагностических технологий нейровизуализации, таких как функциональная магнитно-резонансная томография и магнитно-резонансная спектроскопия, диффузионно-тензорная визуализация, функциональная магнитоэнцефалография, транскраниальная магнитная стимуляция и др.;

- поиск и разработка специальных подходов к медикаментозной и метаболической коррекции типичных для ССГМ у юных спортсменов отсроченных осложнений, в том числе нарушенных нейрофункциональных связей, нейрометаболических и циркуляторных изменений, а также различных когнитивных и сенсорных отклонений;

- разработка программ и протоколов реабилитации и восстановления юных спортсменов после ССГМ, в том числе обоснование и медицинский контроль индивидуальных режимов их возвращения к активной спортивной деятельности;

- подготовка информационно-методических материалов для тренерского штата по особенностям работы с юными спортсменами при возникновении ССГМ и профилактическим мероприятиям, направленным на предупреждение травматизма.

Литература

- McCrory P, Meeuwisse W, Dvorak J, et al. Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport held in Berlin. *Br J Sports Med*. 2016; 51 (11): 838–47.
- Giza CC, Hovda DA. The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery*. 2014; 75 (suppl 4): S24–S33.
- Neelakantan M, Ryali B, Cabral MD, Harris A, McCarroll J, Patel DR. Academic Performance Following Sport-Related Concussions in Children and Adolescents: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17: 7602.
- Davis GA, Anderson V, Babl FE, Gioia, GA, Giza CC, Meehan W, et al. What is the difference in concussion management in children as compared with adults? A systematic review. *Br J Sports Med*. 2017; 51: 949–57.
- Rivara FP, Tennyson R, Mills B, Brownd SR, Emery CA, Gioi G, et al. Consensus Statement on Sports-Related Concussions in Youth Sports. *JAMA Pediatr*. 2020; 174 (1): 79–85.
- Bryan MA, Rowhani-Rahbar A, Comstock RD, Rivara F. Sports- and recreation-related concussions in US youth. *Pediatrics*. 2016; 138: e20154635.
- Zuckerman SL, Kerr ZY, Yengo-Kahn A, Wasserman E, Covassin T, Solomon GS. Epidemiology of sports-related concussion in NCAA athletes from 2009–2010 to 2013–2014: incidence, recurrence, and mechanisms. *Am J Sports Med*. 2015; 43: 2654–62.
- Cancelliere C, Coronado VG, Taylor CA, Xu L. Epidemiology of isolated versus nonisolated mild traumatic brain injury treated in emergency departments in the United States, 2006–2012: sociodemographic characteristics. *J Head Trauma Rehabil*. 2017; 32 (4): E37–E46.
- Kerr ZY, Yeargin S, Valovich McLeod TC, Nittoli VC, Mensch J, Dodge T, et al. Comprehensive coach education and practice contact restriction guidelines result in lower injury rates in youth American football. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2015; 3 (7): 2325967115594578. DOI: 10.1177/2325967115594578. PMID: 26674011; PMCID: PMC4622331.
- Bompadre V, Jinguji TM, Yanez ND, Satchell EK, Gilbert K, Burton M, et al. Washington State's Lystedt law in concussion documentation in Seattle public high schools. *Journal of Athletic Training*. 2014; 49 (4): 486–92.
- Yang J, Comstock RD, Yi H, Harvey HH, Xun P. New and recurrent concussions in high-school athletes before and after traumatic brain injury laws, 2005–2016. *American Journal of Public Health*. 2017; e1–e7.
- Coronado VG, Haileyesus T, Cheng TA, Bell JM, Haarbauer-Krupa J, Lionbarger MR, et al. Trends in sports- and recreation-related traumatic brain injuries treated in US emergency departments: the National Electronic Injury Surveillance System–All Injury Program (NEISS-AIP) 2001–2012. *J Head Trauma Rehabil*. 2015; 30 (3): 185–97.
- Carroll LJ, Cassidy JD, Holm L, Kraus J, Coronado VG. Methodological issues and research recommendations for mild traumatic brain injury: the WHO collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *J Rehabil Med*. 2004; S (43): 113–25.
- Babikian T, Satz P, Zaucha K, Light R, Lewis RS, Asarnow RF. The UCLA longitudinal study of neurocognitive outcomes following mild pediatric traumatic brain injury. *J Int Neuropsychol Soc*. 2011; 17 (5): 886–95.
- Resch J, Driscoll A, McCaffrey N, Brown C, Ferrara MS, Macciocchi S,

- et al. ImPact test-retest reliability: reliably unreliable? *J Athl Train*. 2013; 48 (4): 506–11.
16. Bruce J, Echemendia R, Meeuwisse W, Comper P, Sisco A. 1 year test-retest reliability of ImPACT in professional ice hockey players. *Clin Neuropsychol*. 2014; 28 (1): 14–25.
 17. Prasad MR, Swank PR, Ewing-Cobbs L. Long-term school outcomes of children and adolescents with traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil*. 2017; 32: E24–E32.
 18. Alexander DG, Shuttleworth-Edwards AB, Kidd M, Malcolm CM. Mild traumatic brain injuries in early adolescent rugby players: Long-term neurocognitive and academic outcomes. *Brain Injury*. 2015; 29: 1113–25.
 19. Гусев Е. И., Скворцова В. И. Ишемия головного мозга. М.: Медицина, 2001; 328 с.
 20. Ommaya AK, Gennarelli TA. Cerebral concussion and traumatic unconsciousness. Correlation of experimental and clinical observations of blunt head injuries. *Brain*. 1974; 97 (4): 633–54.
 21. Buzzini SR, Guskiewicz KM. Sport-related concussion in the young athlete. *Curr Opin Pediatr*. 2006; 18 (4): 376–82.
 22. Румянцев А. Г., Древаль О. Н., Фениксов В. М. Синдром «Shaken Baby»: диагностика, лечение, профилактика. Вопросы практической педиатрии. 2007; 2 (2): 23–29.
 23. Adam JO, Jai S, Kshitij M. Parenchymal brain injuries in abusive head trauma. *Pediatr Radiol*. 2021; Feb 27.
 24. Emery C, Kang J, Shrier I, Goulet C, Hagel B, Benson B, et al. Risk of injury associated with bodychecking experience among youth hockey players. *Can Med Assoc J*. 2011; 183: 1249–56.
 25. Hollis SJ, Stevenson MR, McIntosh AS. Incidence, Risk, and Protective Factors of Mild Traumatic Brain Injury in a Cohort of Australian Nonprofessional Male Rugby Players. *Am J Sports Med*. 2009; Dec; 37 (12): 2328–33.
 26. Halstead ME, Walter KD, Moffatt K, Council on sports medicine and fitness. Sport-Related Concussion in Children and Adolescents. *Pediatrics* December. 2018; 142 (6): e20183074.
 27. Virji-Babul N, Borich MR, Makan N, Moore T, Frew K, Emery CA, et al. Diffusion tensor imaging of sports-related concussion in adolescents. *Pediatr Neurol*. 2013; 48 (1): 24–29.
 28. Feldman HM, Yeatman JD, Lee ES, Barde LH, Gaman-Bean S. Diffusion tensor imaging: a review for pediatric researchers and clinicians. *J Dev Behav Pediatr*. 2010; 31 (4): 346–56.
 29. Van BL, Ghesquière P, Lagae L, De SB. Arithmetic difficulties in children with mild traumatic brain injury at the subacute stage of recovery. *Dev Med Child Neurol*. 2015; 57 (11): 1042–8.
 30. Gasparovic C, Yeo R, Mannell M, Ling J, Elgie R, Phillips J, et al. Neurometabolite concentrations in gray and white matter in mild traumatic brain injury: an 1H-magnetic resonance spectroscopy study. *J Neurotrauma*. 2009; 26 (10): 1635–43.
 31. Yeo RA, Phillips JP, Jung RE, Brown AJ, Campbell RC, Brooks WM. Magnetic resonance spectroscopy detects brain injury and predicts cognitive functioning in children with brain injuries. *J Neurotrauma*. 2006; 23 (10): 1427–35.
 32. Vagnozzi R, Signoretti S, Floris R, Marziali S, Manara M, Amorini AM, et al. Decrease in N-acetylaspartate following concussion may be coupled to decrease in creatine. *J Head Trauma Rehabil*. 2013; 28 (4): 284–92.
 33. Babikian T, Freier MC, Ashwal S, Riggs ML, Burley T, Holshouser BA. MR spectroscopy: predicting long-term neuropsychological outcome following pediatric TBI. *J Magn Reson Imaging*. 2006; 2 (4): 801–11.
 34. McCrear M, Meier T, Huber D, Pfitz A, Bigler E, Debert CT, et al. Role of advanced neuroimaging, fluid biomarkers and genetic testing in the assessment of sport-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2017; 51 (12): 919–29.
 35. Halstead ME, Walter KD. Clinical report—sport-related concussion in children and adolescents. *Pediatrics*. 2010; 126 (3): 597–615.
 36. Dambinova SA, Shikuev AV, Weissman JD, Mullins CD. AMPAR Peptide Values in Blood of Nonathletes and Club Sport Athletes With Concussions. *Military Medicine*. 2013; 178 (3): 285–90.
 37. Дамбинова К. Т., Алиев Е. В., Бондаренко Г. В., Пономарев А. А., Скоромец А. П., Скоромец Т. А. и др. Биомаркеры ишемии головного мозга как новый метод доказательства эффективности нейроцитопротекторов. Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2017; 117 (5): 62–67.
 38. Len TK, Neary JP, Asmundson GJG, Goodman DG, Bjornson B, Bhamhani YN. Cerebrovascular reactivity impairment after sport-induced concussion. *Med Sci Sports Exerc*. 2011; 43 (12): 2241–8.
 39. Maugans TA, Farley C, Altave M, Leach J, Cecil KM. Pediatric sports-related concussion produces cerebral blood flow alterations. *Pediatrics*. 2012; 129 (1): 28–37.
 40. Wang Y, West JD, Bailey JN, Westfall DR, Xiao H, Arnold TW, et al. Decreased cerebral blood flow in chronic pediatric mild TBI: an MRI perfusion study. *Dev Neuropsychol*. 2015; 40 (1): 40–44.
 41. Moore DR, Pindus DM, Raine LB, Drollette ES, Scudder MR, Ellemberg D, et al. The persistent influence of concussion on attention, executive control, and neuroelectric function in preadolescent children. *Int J Psychophysiol*. 2016; 99: 85–95.
 42. Moor RD, Jacob JK, Ellemberg D. The long-term outcomes of sport-related concussion in pediatric populations. *Int J Psychophysiol*. 2018; 132 (Pt A): 14–24.
 43. Baillargeon A, Lassonde M, Leclerc S, Ellemberg D. Neuropsychological and neurophysiological assessment of sport concussion in children, adolescents and adults. *Brain Inj*. 2012; 26 (3): 211–20.
 44. Nelson LD, Guskiewicz KM, Barr WB, Hammeke TA, Randolph C, Ahn KW, et al. Age differences in recovery after sport-related concussion: a comparison of high school and collegiate athletes. *J Athl Train*. 2016; 51 (2): 142–52.
 45. Hessen E, Nestvold K, Anderson V. Neuropsychological function 23 years after mild traumatic brain injury: a comparison of outcome after pediatric and adult head injuries. *Brain Inj*. 2007; 21 (9): 963–79.
 46. Babcock L, Byczkowski T, Wade SL, Ho M, Mookerjee S, Bazarian JJ. Predicting postconcussion syndrome after mild traumatic brain injury in children and adolescents who present to the emergency department. *JAMA Pediatr*. 2013; 167 (2): 156–61.
 47. Baillargeon A, Lassonde M, Leclerc S, Ellemberg D. Neuropsychological and neurophysiological assessment of sport concussion in children, adolescents and adults. *Brain Inj*. 2012; 26 (3): 211–20.
 48. Prins ML, Giza CC. Repeat traumatic brain injury in the developing brain. *Int J Dev Neurosci*. 2012; 30 (3): 185–90.
 49. Moore RD, Pindus DM, Drollette ES, Scudder MR, Raine LB, Hillman CH. The persistent influence of pediatric concussion on attention and cognitive control during flanker performance. *Biol Psychol*. 2015; 109: 93–102.
 50. Gessel LM, Fields SK, Collins CL, Dick RW, Comstock RD. Concussions among United States high school and collegiate athletes. *J Athl Train*. 2007; 42 (4): 495–503.
 51. Covassin T, Moran R, Elbin RJ. Sex differences in reported concussion injury rates and time loss from participation: an update of the National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance Program from 2004–2005 through 2008–2009. *J Athl Train*. Large study summarizing sex differences in concussion rates and recovery after SRC in collegiate athletes. 2016; 51: 189–94.
 52. Ono KE, Burns TG, Bearden DJ, McManus SM, King H, Reisner A. Sex-based differences as a predictor of recovery trajectories in young athletes after a sports-related concussion. *Am J Sports Med*. 2016; 44 (3): 748–52.
 53. Tanveer SR, Zecavati N, Delasobera EB, Oyegbile TO. Gender differences in concussion and post-injury cognitive findings in an older and younger pediatric population. *Pediatr Neurol*. 2017; 70: 40–49.
 54. Caccese JB, Kaminski TW. Minimizing head acceleration in soccer: a review of the literature. *Sports Medicine*. 2016; 46 (11): 1591–604.
 55. Wallace J, Covassin T, Beidler E. Sex differences in high school athletes' knowledge of sport-related concussion symptoms and reporting behaviors. *J Athl Train*. 2017; 52: 682–8.

References

- McCrory P, Meeuwisse W, Dvorak J, et al. Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport held in Berlin. *Br J Sports Med.* 2016; 51 (11): 838–47.
- Giza CC, Hovda DA. The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery.* 2014; 75 (suppl 4): S24–S33.
- Neelakantan M, Ryali B, Cabral MD, Harris A, McCarroll J, Patel DR. Academic Performance Following Sport-Related Concussions in Children and Adolescents: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17: 7602.
- Davis GA, Anderson V, Babl FE, Gioia, GA, Giza CC, Meehan W, et al. What is the difference in concussion management in children as compared with adults? A systematic review. *Br J Sports Med.* 2017; 51: 949–57.
- Rivara FP, Tennyson R, Mills B, Brownd SR, Emery CA, Gioi G, et al. Consensus Statement on Sports-Related Concussions in Youth Sports. *JAMA Pediatr.* 2020; 174 (1): 79–85.
- Bryan MA, Rowhani-Rahbar A, Comstock RD, Rivara F. Sports- and recreation-related concussions in US youth. *Pediatrics.* 2016; 138: e20154635.
- Zuckerman SL, Kerr ZY, Yengo-Kahn A, Wasserman E, Covassin T, Solomon GS. Epidemiology of sports-related concussion in NCAA athletes from 2009–2010 to 2013–2014: incidence, recurrence, and mechanisms. *Am J Sports Med.* 2015; 43: 2654–62.
- Cancelliere C, Coronado VG, Taylor CA, Xu L. Epidemiology of isolated versus nonisolated mild traumatic brain injury treated in emergency departments in the United States, 2006–2012: sociodemographic characteristics. *J Head Trauma Rehabil.* 2017; 32 (4): E37–E46.
- Kerr ZY, Yeargin S, Valovich McLeod TC, Nittoli VC, Mensch J, Dodge T, et al. Comprehensive coach education and practice contact restriction guidelines result in lower injury rates in youth American football. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine.* 2015; 3 (7): 2325967115594578. DOI: 10.1177/2325967115594578. PMID: 26674011; PMCID: PMC4622331.
- Bompadre V, Jinguji TM, Yanez ND, Satchell EK, Gilbert K, Burton M, et al. Washington State's Lystedt law in concussion documentation in Seattle public high schools. *Journal of Athletic Training.* 2014; 49 (4): 486–92.
- Yang J, Comstock RD, Yi H, Harvey HH, Xun P. New and recurrent concussions in high-school athletes before and after traumatic brain injury laws, 2005–2016. *American Journal of Public Health.* 2017; e1–e7.
- Coronado VG, Haileyesus T, Cheng TA, Bell JM, Haarbauer-Krupa J, Lionbarger MR, et al. Trends in sports- and recreation-related traumatic brain injuries treated in US emergency departments: the National Electronic Injury Surveillance System–All Injury Program (NEISS-AIP) 2001–2012. *J Head Trauma Rehabil.* 2015; 30 (3): 185–97.
- Carroll LJ, Cassidy JD, Holm L, Kraus J, Coronado VG. Methodological issues and research recommendations for mild traumatic brain injury: the WHO collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *J Rehabil Med.* 2004; S (43): 113–25.
- Babikian T, Satz P, Zaucha K, Light R, Lewis RS, Asarnow RF. The UCLA longitudinal study of neurocognitive outcomes following mild pediatric traumatic brain injury. *J Int Neuropsychol Soc.* 2011; 17 (5): 886–95.
- Resch J, Driscoll A, McCaffrey N, Brown C, Ferrara MS, Macciocchi S, et al. ImPact test-retest reliability: reliably unreliable? *J Athl Train.* 2013; 48 (4): 506–11.
- Bruce J, Echemendia R, Meeuwisse W, Comper P, Sisco A. 1 year test-retest reliability of ImPACT in professional ice hockey players. *Clin Neuropsychol.* 2014; 28 (1): 14–25.
- Prasad MR, Swank PR, Ewing-Cobbs L. Long-term school outcomes of children and adolescents with traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil.* 2017; 32: E24–E32.
- Alexander DG, Shuttleworth-Edwards AB, Kidd M, Malcolm CM. Mild traumatic brain injuries in early adolescent rugby players: Long-term neurocognitive and academic outcomes. *Brain Injury.* 2015; 29: 1113–25.
- Gusev EI, Skvortcova VI. Ishemiya golovnogo mozga. M.: Medicina, 2001; 328 c. Russian.
- Ommaya AK, Gennarelli TA. Cerebral concussion and traumatic unconsciousness. Correlation of experimental and clinical observations of blunt head injuries. *Brain.* 1974; 97 (4): 633–54.
- Buzzini SR, Guskiewicz KM. Sport-related concussion in the young athlete. *Curr Opin Pediatr.* 2006; 18 (4): 376–82.
- Rumjancev AG, Dreval ON, Feniksov VM. Sindrom «Shaken Baby»: diagnostika, lechenie, profilaktika. *Voprosy prakticheskoy pediatrii.* 2007; 2 (2): 23–29. Russian.
- Adam JO, Jai S, Kshitij M. Parenchymal brain injuries in abusive head trauma. *Pediatr Radiol.* 2021; Feb 27.
- Emery C, Kang J, Shrier I, Goulet C, Hagel B, Benson B, et al. Risk of injury associated with bodychecking experience among youth hockey players. *Can Med Assoc J.* 2011; 183: 1249–56.
- Hollis SJ, Stevenson MR, McIntosh AS. Incidence, Risk, and Protective Factors of Mild Traumatic Brain Injury in a Cohort of Australian Nonprofessional Male Rugby Players. *Am J Sports Med.* 2009; Dec; 37 (12): 2328–33.
- Halstead ME, Walter KD, Moffatt K, Council on sports medicine and fitness. Sport-Related Concussion in Children and Adolescents. *Pediatrics* December. 2018; 142 (6): e20183074.
- Virji-Babul N, Borich MR, Makan N, Moore T, Frew K, Emery CA, et al. Diffusion tensor imaging of sports-related concussion in adolescents. *Pediatr Neurol.* 2013; 48 (1): 24–29.
- Feldman HM, Yeatman JD, Lee ES, Barde LH, Gaman-Bean S. Diffusion tensor imaging: a review for pediatric researchers and clinicians. *J Dev Behav Pediatr.* 2010; 31 (4): 346–56.
- Van BL, Ghesquière P, Lagae L, De SB. Arithmetic difficulties in children with mild traumatic brain injury at the subacute stage of recovery. *Dev Med Child Neurol.* 2015; 57 (11): 1042–8.
- Gasparovic C, Yeo R, Mannell M, Ling J, Elgie R, Phillips J, et al. Neurometabolite concentrations in gray and white matter in mild traumatic brain injury: an ¹H-magnetic resonance spectroscopy study. *J Neurotrauma.* 2009; 26 (10): 1635–43.
- Yeo RA, Phillips JP, Jung RE, Brown AJ, Campbell RC, Brooks WM. Magnetic resonance spectroscopy detects brain injury and predicts cognitive functioning in children with brain injuries. *J Neurotrauma.* 2006; 23 (10): 1427–35.
- Vagnozzi R, Signoretti S, Floris R, Marziali S, Manara M, Amorini AM, et al. Decrease in N-acetylaspartate following concussion may be coupled to decrease in creatine. *J Head Trauma Rehabil.* 2013; 28 (4): 284–92.
- Babikian T, Freier MC, Ashwal S, Riggs ML, Burley T, Holshouser BA. MR spectroscopy: predicting long-term neuropsychological outcome following pediatric TBI. *J Magn Reson Imaging.* 2006; 2 (4): 801–11.
- McCrea M, Meier T, Huber D, Pfito A, Bigler E, Debert CT, et al. Role of advanced neuroimaging, fluid biomarkers and genetic testing in the assessment of sport-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2017; 51 (12): 919–29.
- Halstead ME, Walter KD. Clinical report—sport-related concussion in children and adolescents. *Pediatrics.* 2010; 126 (3): 597–615.
- Dambinova SA, Shikuev AV, Weissman JD, Mullins CD. AMPAR Peptide Values in Blood of Nonathletes and Club Sport Athletes With Concussions. *Military Medicine.* 2013; 178 (3): 285–90.
- Dambinova KT, Aliev EV, Bondarenko GV, Ponomarev AA, Skoromec AP, Skoromec TA, i dr. Biomarkery ishemii golovnogogo mozga kak novyj metod dokazatel'stva jeffektivnosti nejrocitoprotektorov. *Zhurnal nevrologii i psihiatrii im. S. S. Korsakova.* 2017; 117 (5): 62–67. Russian.
- Len TK, Neary JP, Asmundson GJG, Goodman DG, Bjornson B, Bhambhani YN. Cerebrovascular reactivity impairment after sport-induced concussion. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43 (12): 2241–8.
- Maugans TA, Farley C, Altave M, Leach J, Cecil KM. Pediatric sports-related concussion produces cerebral blood flow alterations. *Pediatrics.* 2012; 129 (1): 28–37.
- Wang Y, West JD, Bailey JN, Westfall DR, Xiao H, Arnold TW, et al. Decreased cerebral blood flow in chronic pediatric mild TBI: an MRI perfusion study. *Dev Neuropsychol.* 2015; 40 (1): 40–44.
- Moore DR, Pindus DM, Raine LB, Drollette ES, Scudder MR,

- Ellemberg D, et al. The persistent influence of concussion on attention, executive control, and neuroelectric function in preadolescent children. *Int J Psychophysiol.* 2016; 99: 85–95.
42. Moor RD, Jacob JK, Ellemberg D. The long-term outcomes of sport-related concussion in pediatric populations. *Int J Psychophysiol.* 2018; 132 (Pt A): 14–24.
 43. Baillargeon A, Lassonde M, Leclerc S, Ellemberg D. Neuropsychological and neurophysiological assessment of sport concussion in children, adolescents and adults. *Brain Inj.* 2012; 26 (3): 211–20.
 44. Nelson LD, Guskiewicz KM, Barr WB, Hammeke TA, Randolph C, Ahn KW, et al. Age differences in recovery after sport-related concussion: a comparison of high school and collegiate athletes. *J Athl Train.* 2016; 51 (2): 142–52.
 45. Hessen E, Nestvold K, Anderson V. Neuropsychological function 23 years after mild traumatic brain injury: a comparison of outcome after pediatric and adult head injuries. *Brain Inj.* 2007; 21 (9): 963–79.
 46. Babcock L, Byczkowski T, Wade SL, Ho M, Mookerjee S, Bazarian JJ. Predicting postconcussion syndrome after mild traumatic brain injury in children and adolescents who present to the emergency department. *JAMA Pediatr.* 2013; 167 (2): 156–61.
 47. Baillargeon A, Lassonde M, Leclerc S, Ellemberg D. Neuropsychological and neurophysiological assessment of sport concussion in children, adolescents and adults. *Brain Inj.* 2012; 26 (3): 211–20.
 48. Prins ML, Giza CC. Repeat traumatic brain injury in the developing brain. *Int J Dev Neurosci.* 2012; 30 (3): 185–90.
 49. Moore RD, Pindus DM, Drolette ES, Scudder MR, Raine LB, Hillman CH. The persistent influence of pediatric concussion on attention and cognitive control during flanker performance. *Biol Psychol.* 2015; 109: 93–102.
 50. Gessel LM, Fields SK, Collins CL, Dick RW, Comstock RD. Concussions among United States high school and collegiate athletes. *J Athl Train.* 2007; 42 (4): 495–503.
 51. Covassin T, Moran R, Elbin RJ. Sex differences in reported concussion injury rates and time loss from participation: an update of the National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance Program from 2004–2005 through 2008–2009. *J Athl Train.* Large study summarizing sex differences in concussion rates and recovery after SRC in collegiate athletes. 2016; 51: 189–94.
 52. Ono KE, Burns TG, Bearden DJ, McManus SM, King H, Reisner A. Sex-based differences as a predictor of recovery trajectories in young athletes after a sports-related concussion. *Am J Sports Med.* 2016; 44 (3): 748–52.
 53. Tanveer SR, Zecavati N, Delasobera EB, Oyegbile TO. Gender differences in concussion and post-injury cognitive findings in an older and younger pediatric population. *Pediatr Neurol.* 2017; 70: 40–49.
 54. Caccese JB, Kaminski TW. Minimizing head acceleration in soccer: a review of the literature. *Sports Medicine.* 2016; 46 (11): 1591–604.
 55. Wallace J, Covassin T, Beidler E. Sex differences in high school athletes' knowledge of sport-related concussion symptoms and reporting behaviors. *J Athl Train.* 2017; 52: 682–8.