

Геопространственное распределение госпитальных ресурсов в региональных травматологических системах (обзор зарубежной литературы)

Ю.Г. Шапкин, П.А. Селиверстов✉, Н.Ю. Стекольников

Кафедра общей хирургии

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»

Российская Федерация, 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, д. 112

✉ **Контактная информация:** Селиверстов Павел Андреевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «СГМУ им. В.И. Разумовского» МЗ РФ. Email: seliwerstov.pl@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

В обзоре представлены результаты зарубежных исследований, касающихся геопространственного анализа и моделирования распределения травмоцентров и вертолетных баз скорой медицинской помощи в развитых региональных травматологических системах. Оптимальное количество и географическое расположение травмоцентров в регионе определяется с учетом сроков доставки пострадавших в травмоцентры высокого уровня, плотности населения, объема госпитализаций пациентов с тяжелой травмой, частоты межбольничных переводов. Распределение госпитальных ресурсов травматологической системы должно основываться на потребностях населения, варьировать в зависимости от географических и социальных особенностей региона.

Ключевые слова:

травматологическая система, травмоцентр, тяжелая травма, догоспитальный период, вертолетная транспортировка, геопространственный анализ

Ссылка для цитирования

Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А., Стекольников Н.Ю. Геопространственное распределение госпитальных ресурсов в региональных травматологических системах (обзор зарубежной литературы). *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2021;10(4):728–736. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2021-10-4-728-736>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

ДТП — дорожно-транспортное происшествие
 ТС — травматологическая система
 ACS-COT — American College of Surgeons
 Committee on Trauma
 AIS — Abbreviated Injury Scale

EMS — Emergency Medical Service
 GEMSI — Geographic Emergency Medical Service Index
 HEMS — Helicopter Emergency Medical Services
 ISS — Injury Severity Scale
 NBATS — Needs Based Assessment of Trauma Systems

ВВЕДЕНИЕ

Травма остается актуальной проблемой здравоохранения во всем мире и ведущей причиной смерти и инвалидности населения в возрасте до 45 лет [1, 2]. Внедрение систем травматологической помощи (*Trauma Systems*) в развитых странах привело к снижению летальности среди травмированных пациентов и улучшению результатов их лечения [3, 4]. Травматологическая система (ТС) объединяет службы, обеспечивающие догоспитальную помощь и транспортировку пострадавших, лечение в сети травмоцентров, реабилитацию, профилактику, исследовательскую и образовательную деятельность. Каждая ТС обслуживает определенный географический район и интегрирована в систему здравоохранения. Разработка и внедрение ТС начата в конце 60–начале 70-х годов в США Комитетом по травме Американского колледжа хирургов (*American College of Surgeons Committee on Trauma — ACS-COT*) и широко распространяется в высокоразвитых странах с 2000 годов. К настоящему времени национальные ТС организованы в США, Канаде, Великобритании, Австралии и Новой

Зеландии, странах Западной Европы, Скандинавии, Израиле, Японии [1, 2, 5]. Травмоцентры являются важнейшим компонентом ТС. От их количества, возможностей и географического распределения в регионе во многом зависит эффективность функционирования всей системы [6]. В России формируется трехуровневая система травмоцентров и накапливается опыт ее работы, который пока еще не получил глубокого научного анализа в отечественной литературе. Между тем, проблемы оптимального распределения госпитальных ресурсов ТС широко обсуждаются и детально исследуются в зарубежной литературе. Международный опыт их решения может быть полезным для создания и совершенствования отечественных ТС.

Цель обзора — рассмотреть проблему объективной оценки и моделирования оптимального геопространственного распределения травмоцентров в условиях функционирования региональных ТС.

Проведен поиск зарубежных литературных источников в базе данных *PubMed*, опубликованных в период с 2014 года по 2020 год. Обобщены результаты

исследований, посвященных проблеме геопространственного распределения госпитальных ресурсов в развитых региональных травматологических системах, имеющих наибольший опыт в мировой практике и доказавших свою эффективность. Развитыми ТС считаются системы III/IV уровня зрелости в соответствии с Индексом зрелости ТС, предложенным Всемирной организацией здравоохранения [1]. За критерий тяжелой травмы принимается показатель тяжести повреждений по шкале *ISS (Injury Severity Scale)* >15 баллов [2, 5, 7].

УРОВНИ ТРАВМОЦЕНТРОВ

Рациональное распределение госпитальных ресурсов достигается в инклюзивных моделях ТС, в которых все травмоцентры в регионе оказывают травматологическую помощь в соответствии с их возможностями, в зависимости от чего их делят на уровни. В США выделены четыре уровня травмоцентров, в Германии, Франции и Японии внедрены трехуровневые, а в Англии, Норвегии и Австралии — двухуровневые госпитальные сети [1, 2, 5].

Травмоцентр I уровня имеет полный набор специалистов и наибольшие возможности для лечения любых видов травм, он расположен, как правило, в крупных городах и возглавляет образовательные, исследовательские и профилактические мероприятия в регионе, часто это университетские клиники. В мегаполисах может быть несколько центров I уровня из расчета 1 на 1 000 000 населения. Крупные травмоцентры I уровня рассчитаны на лечение более 650 пациентов с тяжелыми травмами в год, центры средней емкости — более 400 таких пациентов [8].

Травмоцентры II уровня располагают большинством ресурсов центра I уровня, но ограничены в возможности лечения пациентов со сложными и редкими повреждениями, могут быть размещены в городах, пригородной или сельской местности с высокой плотностью населения. Травмоцентры II уровня дополняют клиническую деятельность центра I уровня или служат ведущими травматологическими учреждениями в регионах, где таковой отсутствует.

Травмоцентры III и IV уровня осуществляют лечение пациентов с нетяжелой травмой и располагаются в сельских районах, удаленных от учреждений I или II уровня. В центрах III уровня возможно выполнение общехирургических неотложных операций и стабилизация состояния тяжелотравмированных до перевода их в центры I или II уровня. Травмоцентры IV уровня способны обеспечивать расширенную поддержку жизненно важных функций пациентов с тяжелой травмой до перевода их в учреждения I или II уровня [5].

МАРШРУТИЗАЦИЯ И МЕЖГОСПИТАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОДЫ ПАЦИЕНТОВ

Догоспитальная летальность у пациентов с тяжелой травмой колеблется от 15 до 48%, при этом 31–54% смертей потенциально предотвратимы. Причиной 27–58% предотвратимых смертей становится задержка оказания специализированной помощи [9]. Доставка тяжелотравмированных в травмоцентр низкого уровня или в непрофильные лечебные учреждения (*Undertriage*) может повысить предотвратимую летальность или частоту осложнений от задержек в диагностике и полноценном лечении. Наоборот, доставка пациентов с нетяжелой травмой в травмоцентр высокого уровня (*Overtriage*) не влияет на летальность, но

приводит к необоснованным тратам госпитальных ресурсов, а при массовых поступлениях может отрицательно сказаться на качестве лечения [10, 11].

ACS-COT определил целевые показатели *Undertriage* не более 5%, *Overtriage* — 25–35% госпитализаций [5]. Географическое распределение травмоцентров может значимо влиять на доступность травматологической помощи и уровень *Undertriage* [12]. Например, в штатах Калифорния и Пенсильвания (США) показатели *Undertriage* в районах без травмоцентра высокого уровня значимо выше (38–58%), чем в районах, примыкающих к травмоцентрам (26–32%) [11, 13]. В Швеции для тяжелотравмированного в дорожно-транспортном происшествии (ДТП) гражданина шансы быть доставленным в травмоцентр снижаются на 5% на каждый дополнительный километр расстояния от места происшествия до травмоцентра [14].

По одним данным риск смерти для пациентов с тяжелой травмой, доставляемых непосредственно в травмоцентр I уровня, меньше, чем для пациентов, которые первоначально поступают в центры нижнего уровня и переводятся в центр I уровня по стабилизации состояния [15]. В других исследованиях значимого различия в летальности среди данных групп тяжелотравмированных не выявлено, что может быть объяснено высоким качеством догоспитальной помощи, адекватной стабилизацией жизненно важных функций пострадавших и своевременным (в течение 48 часов) их переводом [16–19]. В любом случае летальность у пациентов с тяжелой травмой, получавших окончательное лечение в травмоцентрах III уровня или неспециализированных больницах, значимо выше, чем у тех, кто был непосредственно доставлен или переведен для дальнейшего лечения в центры высокого уровня [12, 20, 21]. Пострадавшие с тяжестью травмы по шкале *ISS* >25 баллов имеют наибольшую выгоду для выживаемости от лечения в травмоцентрах I и II уровня [22].

Возможность оказать более качественную помощь в травмоцентрах высокого уровня оправдывает непосредственную доставку и межгоспитальный перевод тяжелотравмированных пациентов в данные учреждения. К излишним расходам ресурсов ТС приводит необоснованный перевод больных, которые выписываются из принимающего учреждения без хирургического вмешательства в течение 48 часов (вторичная *Overtriage*) [23]. Развитие травмоцентров III уровня в сельских районах может значительно снизить количество межгоспитальных переводов [24]. Так, наличие компьютерного томографа, штатного невролога, использование телемедицины с участием травматолога позволяет исключить серьезные неврологические и скелетные повреждения и снизить показатель вторичной *Overtriage* [25, 26]. Напротив, увеличение количества травмоцентров I или II уровня в регионе сопровождается повышением уровня вторичной *Overtriage* [25].

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ДОГОСПИТАЛЬНОГО ПЕРИОДА И ЛЕТАЛЬНОСТЬ

Согласно концепции «золотого часа», оказание экстренной госпитальной помощи в пределах 60 минут значительно снижает летальность при травме. Между тем, в ряде современных исследований не получено доказательств в поддержку данной концепции. Превышение догоспитального времени более 60 минут не повышало значимо летальность у пациентов с

тяжелой травмой [27, 28], шоком (систолическим артериальным давлением менее 90 мм рт.ст.) и тяжелой черепно-мозговой травмой (оценкой по шкале *Glasgow Coma Scale* менее или равной 8 баллов) [29, 30]. По другим данным летальность оставалась связанной с длительностью догоспитального периода у пострадавших с проникающими ранениями груди и живота, «реберным клапаном», артериальной гипотензией [31, 32], шоковых пациентов, нуждающихся в течение первых суток в переливании 6 и более единиц эритроцитарной массы, выполнении экстренных хирургических или интервенционных радиологических вмешательств [30]. Так, в штате Мэриленд (США) увеличение догоспитального времени на каждые 5 минут повышало вероятность смертельного исхода у пациентов с тяжелой закрытой травмой или проникающим ранением груди и живота на 15–17%, у пациентов с другими тяжелыми травмами — только на 5% [33]. В Новой Шотландии (Канада) вероятность смерти пациентов с проникающим ранением повышалась в 3–4 раза при превышении длительности транспортировки более 30 минут [34].

В ряде исследований выявлена даже обратная зависимость между длительностью догоспитального периода и летальностью среди пострадавших с тяжелой травмой, артериальной гипотонией, повреждениями груди и/или живота не менее 4 баллов по шкале *AIS (Abbreviated Injury Scale)* [28, 29, 35]. Летальность была наибольшей среди тех, кого доставляли в срок до 30 минут [36, 37]. У таких пациентов первые 30 минут после получения травмы становятся критическими для выживаемости.

Расстояние от места получения травмы до ближайшего травмоцентра коррелирует с продолжительностью догоспитального периода и летальностью. В штате Мэриленд вероятность смертельного исхода увеличивалась на 8% на каждые 5 миль до ближайшего травмоцентра [33]. В Пенсильвании с увеличением расстояния до ближайшего травмоцентра на каждые 10 миль смертность от травм в ДТП повышалась на 0,141 на 100 тысяч миль дорожного трафика [38].

Связь длительности догоспитального периода с летальностью неоднозначна без учета вида лечебного учреждения, в которое доставляется пострадавший. Польза для тяжелотравмированных от более длительной транспортировки на дальнее расстояние, но в травмоцентр высокого уровня, может превысить выгоду от быстрой доставки в центр III уровня или ближайшую больницу. Исследования показали, что наиболее значимыми факторами летальности, а следовательно, и более объективными показателями оценки распределения госпитальных ресурсов ТС, являются длительность транспортировки пострадавших и расстояние до травмоцентров I или II уровня, а не до других лечебных учреждений. Так, в штате Кентукки (США) летальность у пациентов с тяжелой травмой, доставленных за 30 минут в травмоцентр, была значимо ниже (57%), чем у пациентов, доставленных за тот же интервал времени в неспециализированную больницу (80%). При этом летальность значимо не зависела от расстояния до травмоцентра, но напрямую статистически значимо коррелировала с расстоянием до больницы [35].

Согласно принятым протоколам и рекомендациям, длительность транспортировки пострадавшего с тяжелой травмой до травмоцентра высокого уровня не должна превышать в штате Мичиган (США) — 45 мин,

в Германии и штате Индиана (США) — 30 минут [2, 35], в регионе Овернь–Рона–Альпы (Франция) — 15 минут [3]. Если предполагаемое время транспортировки выше установленного порога, то пострадавшего следует доставить в ближайший травмоцентр или больницу.

ДОСТУПНОСТЬ РАННЕЙ ПОМОЩИ В ТРАВМОЦЕНТРАХ

Условия движения наземным и воздушным транспортом (погода, время суток, день недели, тип и загруженность дороги) могут существенно влиять на длительность транспортировки пострадавших. В связи с этим более объективным показателем оценки доступности ранней специализированной помощи считается не удаленность травмоцентров высокого уровня, а процент жителей или пострадавших в регионе, которых потенциально можно доставить в эти центры за пороговое время. Время доставки в травмоцентр высокого уровня ≤30 мин может быть нереальным, особенно в сельской и труднодоступной местности, поэтому за пороговое время принимается 45 [8, 39] или 60 минут [6, 40–42].

Программное обеспечение *ArcGIS*, *GeoDa* позволяет оценить процент адресатов и пострадавших, которых можно доставить наземным или воздушным транспортом в пределах 45 или 60 минут от места жительства или возможных мест происшествий до всех травмоцентров и больниц в регионе [13, 39, 40, 42–44]. Доступность ранней госпитальной помощи более объективно оценивается на основе расчета потенциального времени доставки пострадавших в травмоцентр с мест получения травм, а не почтовых адресов жителей региона. Анализ травматизма показал, что 73% пациентов получают травму на расстоянии 5 минут времени вождения от их места проживания, 11% — 5–20 минут и 16% — более 20 минут. С увеличением среднего расстояния между местами жительства и местами получения травмы увеличивается ошибка в оценке доступности госпитальной помощи для адресатов региона [45].

Расчеты с применением *ArcGIS* установили, что в США доставка в травмоцентры I и II уровня в пределах 60 минут доступна для 90% жителей [46]. В Новой Шотландии 43% населения провинции имеют возможность быть доставленными за 60 минут в травмоцентры I уровня и 88% жителей — в травмоцентры III уровня [41]. Население сельской местности [46] и пострадавшие в ДТП [41] имеют значительно более низкий доступ к госпитальным ресурсам ТС. Например, в штатах Орегон и Вашингтон (США) 89% городских и только 29% сельских пациентов, нуждающихся в неотложных хирургических вмешательствах, доставляются в травмоцентры высокого уровня [47].

В последнее время метод геопространственного анализа (картографирования) и математического моделирования активно стал применяться для объективной оценки географического распределения ресурсов региональной ТС и определения ее оптимальной конфигурации. Метод позволяет создать модели с рациональным количеством и расположением травмоцентров разного уровня и коечной емкости, обеспечивающих заданные параметры ТС (среднее время доставки пострадавших в травмоцентры наземным и воздушным транспортом, необходимое количество вертолетных рейсов, число госпитализаций и межгоспитальных переводов) [8, 42]. Например, геопростран-

ственный анализ показал, что при оптимальном размещении 27 травмоцентров, существующих в штате Пенсильвания, процент пострадавших, доставляемых в травмоцентры в пределах 60 минут, повысился бы с 91 до 97%, а для обеспечения настоящего уровня доступности госпитальной помощи достаточно только 16–22 рационально размещенных травмоцентров [48].

Вертолетная служба скорой медицинской помощи (*Helicopter Emergency Medical Services — HEMS*) составляет важный ресурс ТС. Травмоцентр I уровня предполагает наличие двух и более вертолетов, травмоцентр II уровня — как минимум одного вертолета [3]. Рациональное размещение и использование *HEMS* может повысить доступность помощи в травмоцентрах и уменьшить летальность [49, 50]. В Новом Южном Уэльсе (Австралия) 86% жителей штата могут быть доставлены в травмоцентры наземным транспортом в пределах 60 минут, использование *HEMS* повышает этот показатель до 99% [51]. Геопропространственный анализ ТС Пенсильвании выявил, что передислокация двух вертолетов в районы с самой высокой смертностью от ДТП («горячие точки») приведет к уменьшению среднего времени доставки пострадавших от места аварии до травмоцентров и снижению прогнозируемой смертности населения от ДТП в семи округах штата на 12% [38].

J.B. Brown et al. (2019) предложили «географический индекс скорой медицинской помощи» (*Geographic Emergency Medical Service Index — GEMSI*). Индекс *GEMSI* прямо пропорционален количеству реанимационных автомобилей скорой помощи на 100 кв. миль, коэффициенту географической разбросанности агентств *EMS* (*Emergency Medical Service*) и обратно пропорционален среднему расстоянию от агентств *EMS* до ближайших травмоцентров и баз *HEMS*. Увеличение значения индекса коррелирует с более низким уровнем смертности населения от ДТП в регионе. Геопропространственное моделирование с использованием индекса *GEMSI* показало, что прогнозируемая смертность населения от ДТП в штате Пенсильвания может снизиться при добавлении одного оптимально размещенного агентства *EMS* на 6%, а при перемещении вертолетной базы — на 22% [52].

Географическая концентрация травмоцентров I и II уровня в регионе коррелирует со смертностью от травм, что связывают с повышением доступности травматологической помощи. В США кластерное (концентрированное) распределение травмоцентров I и II уровня в округах с высокой плотностью населения коррелирует с более низким уровнем смертности, с увеличением коэффициента дисперсности (рассеянности) травмоцентров на каждую единицу смертность от травм увеличивается на 0,02 на 100 000 человек [43].

ACS-COT рекомендует планировать и регулярно пересматривать количество и распределение травмоцентров в соответствии с потребностями населения региона [6]. Неадекватный доступ пациентов к ресурсам ТС может отрицательно сказаться на качестве лечения, часто ведет к тяжелым социальным и финансовым последствиям, которые выходят далеко за рамки медицинских вопросов. Например, в Калифорнии закрытие ряда травмоцентров I и II уровня из-за финансовых проблем привело к повышению летальности на 29% среди пострадавших, которых приходилось транспор-

тировать на более дальние расстояния до травмоцентров, оставшихся в регионе [53].

Увеличение количества травмоцентров без учета потребностей региона не гарантирует повышение доступности специализированной помощи и эффективности догоспитальной сортировки. Так, создание 5 дополнительных травмоцентров II уровня в штате Флорида (США) не отразилось на показателе *Undertriage* и только привело к увеличению уровня *Overtriage* [54].

ОБЪЕМ ГОСПИТАЛИЗАЦИЙ В ТРАВМОЦЕНТРЫ И КАЧЕСТВО ЛЕЧЕНИЯ

Нерегулируемое открытие травмоцентров, прежде всего II уровня, увеличивает системные расходы, приводит к уменьшению объема госпитализаций в травмоцентр I уровня, что снижает наработку опыта у медперсонала, особенно в лечении редких сложных повреждений и ставит под угрозу образовательную и исследовательскую деятельность [55, 56]. Конкуренция между травмоцентрами I и II уровня в регионе снижает эффективность работы обоих.

Во многих исследованиях установлено, что увеличение среднегодовых объемов госпитализаций в травмоцентр повышает выживаемость пациентов [57–59]. По данным *Resuscitation Outcomes Consortium*, увеличение количества поступлений в травмоцентр коррелирует с уменьшением таких показателей, как количество дней искусственной вентиляции легких, степень тяжести полиорганной дисфункции, снижает прогнозируемую летальность на 7% на каждые дополнительные 500 госпитализаций в год [59]. Ряд исследований показал, что общее количество госпитализаций в травмоцентр I уровня не является предиктором летальности [60]. Связь летальности с объемом госпитализаций выявлена только для некоторых категорий пациентов [58]. По данным *TraumaRegister DGU®* (Германия), число поступающих в травмоцентр пациентов с тяжестью травмы по шкале *ISS* не менее 16 баллов является независимым предиктором их выживаемости. Наблюдаемая летальность была значительно ниже, чем прогнозируемая, при поступлении в травмоцентр не менее 40 пациентов с тяжелой травмой в год [7]. Анализ данных *National Trauma Databank (США)* показал, что увеличение объема госпитализаций пациентов с тяжелой травмой в травмоцентры I или II уровня на 1% снижало отношение наблюдаемой летальности к прогнозируемой на 73%. Наоборот, уменьшение объема госпитализаций на 1% на протяжении 3 лет было связано с двукратным увеличением данного показателя [61].

Согласно рекомендациям *ACS-COT*, травмоцентр I уровня должен концентрировать редкие сложные случаи травмы, принимать не менее 1200 пациентов с травмой в год, в том числе не менее 240 больных с тяжестью травмы по шкале *ISS* более 15 баллов, что обеспечит необходимый опыт медперсонала, решение образовательных и исследовательских задач [5]. Во Франции травмоцентр I уровня должен пролечить ежегодно не менее 100 пациентов с тяжелой травмой, центр II уровня — не менее 50 таких больных [3].

Открытие новых травмоцентров не только уменьшает поток пациентов в уже имеющиеся центры, но изменяет состав их плательщиков, снижает количество пациентов с частной страховкой и случаев самооплаты, что может ухудшить финансовое обеспечение травмоцентра и снизить качество лечения [39, 54].

С другой стороны, превышение объема госпитализаций за пределы емкости травмоцентра приведет к недостатку ресурсов для оказания качественной помощи. Следовательно, существует оптимальный диапазон данного показателя, который обеспечивает лучшие результаты лечения и может варьировать в каждой ТС.

ПЛАНИРОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТРАВМОЦЕНТРОВ В РЕГИОНЕ

В 2015 году ACS-COT предложил Инструмент оценки травматологических систем (*Needs Based Assessment of Trauma Systems — NBATS*) для решения вопроса о необходимости открытия дополнительных травмоцентров в регионе. Оптимальное количество травмоцентров определяется на основе следующих показателей: общей численности населения региона, среднего времени транспортировки пострадавших, степени поддержки региона органами управления, количества пациентов с тяжелой травмой, выписанных за год из травмоцентров I и II уровня и неспециализированных учреждений, количества уже существующих центров I, II и III уровней. Инструмент NBATS занижал число городских травмоцентров и переоценивал их количество в сельских районах [62].

В инструменте NBATS-2, разработанном ACS-COT в 2018 году, использована методология геопространственного анализа и моделирования, которая позволяет прогнозировать, как открытие дополнительных травмоцентров повлияет на доступность помощи для населения, вычисляет среднее время транспортировки, объем госпитализаций в существующие центры и на основании этого помогает выбрать оптимальное расположение новых центров [44]. Например, инструмент NBATS-2 показал, что добавление одного городского травмоцентра II уровня в штате Теннесси увеличит количество пострадавших, доставляемых в травмоцентры высокого уровня в пределах 45 минут, только на 2%, но при этом на 40% уменьшится объем госпитализаций в центр I уровня. Открытие двух травмоцентров в сельской местности увеличит количество пострадавших и адресатов, попадающих в зону 45-минутной доставки, на 22% и 29% соответственно, а объем госпитализаций в центр I уровня сократится только на 25% [39].

Геопространственный анализ может быть использован для отбора кандидатов в травмоцентры II уровня из крупных больниц (более 200 коек). В Пенсильвании для этого определены те из них, которые расположены на удалении более 15–30 минут езды от существующих городских и пригородных травмоцентров. Модели с добавлением 1–6 новых травмоцентров из отобранных больниц значимо увеличивали количество пострадавших и адресатов, которые могли бы быть доставлены в травмоцентр в пределах 60 минут [40]. Геопространственный анализ также позволяет выявить кластеризацию показателей *Undertriage* по региону и на основе этих данных определить районы для размещения новых травмоцентров. Показатели *Undertriage* оказались самыми высокими (38–39%) в районах с крупными больницами, которые принимали пациентов с тяжелой травмой и могли рассматриваться в качестве кандидатов в травмоцентры [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт организации и функционирования развитых региональных травматологических систем позволяет сделать следующие выводы.

1. Основными показателями оценки распределения госпитальных ресурсов в региональной травматологической системе являются доступность получения пострадавшими помощи в травмоцентрах I и II уровня, объем госпитализаций пациентов с тяжестью травмы по шкале ISS более 15 баллов, число межбольничных переводов.

2. Распределение госпитальных ресурсов в региональной травматологической системе должно обеспечивать непосредственную доставку пациентов с тяжелой травмой в травмоцентры I или II уровня в кратчайшие сроки, что позволяет улучшить результаты лечения, уменьшить количество межгоспитальных переводов и снизить финансовые затраты системы.

3. Объективным показателем доступности ранней специализированной помощи в травматологической системе служит не удаленность травмоцентров, а удельный вес жителей или пострадавших в регионе, которых потенциально можно доставить наземным или вертолетным транспортом в травмоцентр высокого уровня за 45 или 60 минут. Превышение длительности транспортировки более 30 минут является критическим для выживаемости пострадавших с тяжелой закрытой травмой и проникающими ранениями груди или живота с нестабильной гемодинамикой, нуждающихся в экстренных оперативных вмешательствах. При невозможности транспортировки пациентов с тяжелой травмой в травмоцентр высокого уровня в указанные сроки допускается их госпитализация в травмоцентр III уровня с последующим ранним (в течение 48 часов) межбольничным переводом.

4. Высокая концентрация травмоцентров в регионе сокращает сроки доставки пациентов, но приводит к снижению объема госпитализаций. Существует минимальный объем госпитализаций в травмоцентр I уровня пациентов с тяжелой травмой (не менее 100–240 больных в год), который обеспечивает клиническое совершенство медперсонала, финансовую стабильность травмоцентра и коррелирует с результатами лечения.

5. Геопространственный анализ (картографирование) является наиболее эффективным методом объективной оценки распределения госпитальных ресурсов и выбора оптимальной конфигурации региональной травматологической системы. Метод позволяет определить рациональное количество, расположение и коечную емкость травмоцентров разного уровня с учетом заданного времени транспортировки пострадавших наземным и воздушным транспортом и потенциального количества межбольничных переводов.

Дальнейшее развитие и применение информационных технологий и методов математического моделирования перспективно для решения проблемы создания травматологической системы с оптимальной концентрацией травмоцентров в регионе, обеспечивающей минимальные сроки транспортировки и необходимый объем госпитализаций тяжело травмированных пациентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Dijkink S, Nederpelt CJ, Krijnen P, Velmahos GC, Schipper IB. Trauma systems around the world: A systematic overview. *J Trauma Acute Care Surg.* 2017;83(5):917–925. PMID: 28715361 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001633>
- Weißbuch Schwerverletztenversorgung. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOV) Berlin; 2012. Available at: <http://www.dgu-online.de/qualitaet-sicherheit/schwerverletzte/weissbuch-schwerverletztenversorgung.html> [Accessed 18 Nov 2021]
- David JS, Bouzat P, Raux M. Evolution and organisation of trauma systems. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2019;38(2):161–167. PMID: 29476943 <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2018.01.006>
- Vali Y, Rashidian A, Jalili M, Omidvari AH, Jeddian A. Effectiveness of regionalization of trauma care services: a systematic review. *Public Health.* 2017;146:92–107. PMID: 28404479 <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2016.12.006>
- American College of Surgeons Committee on Trauma. Resources for Optimal Care of the Injured Patient. 6th ed. Chicago, IL: American College of Surgeons Committee on Trauma; 2014. Available at: <https://www.facs.org/-/media/files/quality-programs/trauma/vrc-resources-for-optimal-care.ashx> [Accessed 19 Nov 2021]
- American College of Surgeons Committee on Trauma. Statement on trauma center designation based upon system need. *Bull Am Coll Surg.* 2015;100(1):51–52. PMID: 25626271
- Zacher MT, Kanz KG, Hanschen M, Häberle S, van Griensven M, Lefering R, et al. Association between volume of severely injured patients and mortality in German trauma hospitals. *Br J Surg.* 2015;102(10):1213–1219. PMID: 26148791 <https://doi.org/10.1002/bjs.9866>
- Jansen JO, Moore EE, Wang H, Morrison JJ, Hutchison JD, Campbell MK, et al. Maximizing geographical efficiency: An analysis of the configuration of Colorado's trauma system. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018;84(5):762–770. PMID: 29370062 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001802>
- Pfeifer R, Halvachizadeh S, Schick S, Sprengel K, Jensen KO, Teuben M, et al. Are Pre-hospital Trauma Deaths Preventable? A Systematic Literature Review. *World J Surg.* 2019;43(10):2438–2446. PMID: 31214829 <https://doi.org/10.1007/s00268-019-05056-1>
- Polites SF, Leonard JM, Glasgow AE, Zielinski MD, Jenkins DH, Habermann EB. Undertriage after severe injury among United States trauma centers and the impact on mortality. *Am J Surg.* 2018;216(4):813–818. PMID: 30241769 <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2018.07.061>
- Staudenmayer K, Lin F, Mackersie R, Spain D, Hsia R. Variability in California triage from 2005 to 2009: a population-based longitudinal study of severely injured patients. *J Trauma Acute Care Surg.* 2014;76(4):1041–1047. PMID: 24662870 <https://doi.org/10.1097/TA.000000000000197>
- van Rein EAJ, van der Sluijs R, Houwert RM, Gunning AC, Lichtveld RA, Leenen LPH, et al. Effectiveness of prehospital trauma triage systems in selecting severely injured patients: Is comparative analysis possible? *Am J Emerg Med.* 2018;36(6):1060–1069. PMID: 29395772 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.01.055>
- Horst MA, Jammula S, Gross BW, Cook AD, Bradburn EH, Altenburg J, et al. Undertriage in trauma: Does an organized trauma network capture the major trauma victim? A statewide analysis. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018;84(3):497–504. PMID: 29283966 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001781>
- Fagerlind H, Harvey L, Candefjord S, Davidsson J, Brown J. Does injury pattern among major road trauma patients influence prehospital transport decisions regardless of the distance to the nearest trauma centre? – a retrospective study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2019;27(1):18. PMID: 30760302 <https://doi.org/10.1186/s13049-019-0593-7>
- Mans S, Reinders Folmer E, de Jongh MA, Lansink KW. Direct transport versus inter hospital transfer of severely injured trauma patients. *Injury.* 2016;47(1):26–31. PMID: 26510409 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.09.020>
- Hamada SR, Delhaye N, Degoul S, Gauss T, Raux M, Devaud ML, et al. Direct transport vs secondary transfer to level I trauma centers in a French exclusive trauma system: Impact on mortality and determinants of triage on road-traffic victims. *PLoS One.* 2019;14(11):e0223809. PMID: 31751349 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223809>
- Rozenberg A, Danish T, Dombrovskiy VY, Vogel TR. Outcomes After Motor Vehicle Trauma: Transfers to Level I Trauma Centers Compared With Direct Admissions. *J Emerg Med.* 2017;53(3):295–301. PMID: 28528722 <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.04.001>
- Gale SC, Peters J, Hansen A, Dombrovskiy VY, Detwiler PW. Impact of Transfer Distance and Time on Rural Brain Injury Outcomes. *Brain Inj.* 2016;30(4):437–440. PMID: 26963433 <https://doi.org/10.3109/0269905.2.2016.1140808>
- Pickering A, Cooper K, Harnan S, Sutton A, Mason S, Nicholl J. Impact of prehospital transfer strategies in major trauma and head injury: systematic review, meta-analysis, and recommendations for study design. *J Trauma Acute Care Surg.* 2015;78(1):164–177. PMID: 25539218 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000483>
- Renson A, Schubert FD, Gabbe LJ, Bjurlin MA. Interfacility Transfer is Associated with Lower Mortality in Undertriaged Gunshot Wound Patients. *J Surg Res.* 2019;236:74–82. PMID: 30694782 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.11.011>
- Gomez D, Alali AS, Xiong W, Zarzaar BL, Mann NC, Nathans AB. Definitive care in level 3 trauma centres after severe injury: A comparison of clinical characteristics and outcomes. *Injury.* 2015;46(9):1790–1795. PMID: 26071325 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.05.047>
- Vickers BP, Shi J, Lu B, Wheeler KK, Peng J, Groner JJ, et al. Comparative study of ED mortality risk of US trauma patients treated at level I and level II vs nontrauma centers. *Am J Emerg Med.* 2015;33(9):1158–1165. PMID: 26066772 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.05.010>
- Bukur M, Teurel C, Catino J, Kurek S. The Price of Always Saying Yes: A Cost Analysis of Secondary Overtriage to an Urban Level I Trauma Center. *Am Surg.* 2018;84(8):1368–1375. PMID: 30185318
- Galanis DJ, Steinemann S, Rosen L, Bronstein AC, Biffi WL. Rural Level III centers in an inclusive trauma system reduce the need for interfacility transfer. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018;85(4):747–751. PMID: 30036262 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002033>
- Parikh PP, Parikh P, Mamer L, McCarthy MC, Sakran JV. Association of System-Level Factors with Secondary Overtriage in Trauma Patients. *JAMA Surg.* 2019;154(1):19–25. PMID: 30325989 <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2018.3209>
- Lynch KT, Essig RM, Long DM, Wilson A, Con J. Nationwide secondary overtriage in level 3 and level 4 trauma centers: are these transfers necessary? *J Surg Res.* 2016;204(2):460–466. PMID: 27565083 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.05.035>
- Brown E, Tohira H, Bailey P, Fatovich D, Pereira G, Finn J. Longer Prehospital Time was not Associated with Mortality in Major Trauma: A Retrospective Cohort Study. *Prehosp Emerg Care.* 2019;23(4):527–537. PMID: 30462550 <https://doi.org/10.1080/10903127.2018.1551451>
- Byrne JP, Mann NC, Hoelt CJ, Buick J, Karanickolas P, Rizoli S, et al. The impact of short prehospital times on trauma center performance benchmarking: An ecologic study. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016;80(4):586–596. PMID: 26808027 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000974>
- Kim J, Song KJ, Shin SD, Ro YS, Hong KJ, Holmes JF. Does Prehospital Time Influence Clinical Outcomes in Severe Trauma Patients?: A Cross Sectional Study. *Prehosp Emerg Care.* 2017;21(4):466–475. PMID: 28489503 <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1294223>
- Newgard CD, Meier EN, Bulger EM, Buick J, Sheehan K, Lin S, et al. Revisiting the “Golden Hour”: An Evaluation of Out-of-Hospital Time in Shock and Traumatic Brain Injury. *Ann Emerg Med.* 2015;66(1):30–41. PMID: 25596960 <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2014.12.004>
- Brown JB, Rosengart MR, Forsythe RM, Reynolds BR, Gestring ML, Hallinan WM, et al. Not all prehospital time is equal: Influence of scene time on mortality. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016;81(1):95–100. PMID: 26886000 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000999>
- Harmen AM, Giannakopoulos GF, Moerbeek PR, Jansma EP, Bonjer HJ, Bloemers FW. The influence of prehospital time on trauma patients outcome: a systematic review. *Injury.* 2015;46(4):602–609. PMID: 25627482 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.01.008>
- Jarman MP, Curriero FC, Haut ER, Pollack Porter K, Castillo RC. Associations of Distance to Trauma Care, Community Income, and Neighborhood Median Age with Rates of Injury Mortality. *JAMA Surg.* 2018;153(6):535–543. PMID: 29417146 <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2017.6133>
- Tansley G, Schuurman N, Bowes M, Erdogan M, Green R, Asbridge M, et al. Effect of predicted travel time to trauma care on mortality in major trauma patients in Nova Scotia. *Can J Surg.* 2019;62(2):123–130. PMID: 30907993 <https://doi.org/10.1503/cjs.004218>
- Hu W, Dong Q, Huang B. Effects of distance and rescue time to medical facilities on traffic mortality utilizing GIS. *Int J Inj Contr Saf Promot.* 2018;25(3):329–335. PMID: 29460672 <https://doi.org/10.1080/1745730.2018.1431931>
- Clements TW, Vogt K, Hameed SM, Parry N, Kirkpatrick AW, Grondin SC, et al. Does increased prehospital time lead to a “trial of life” effect for patients with blunt trauma? *J Surg Res.* 2017;216:103–108. PMID: 28807193 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.04.027>
- Alarhayem AQ, Myers JG, Dent D, Liao L, Muir M, Mueller D, et al. Time Is the Enemy: Mortality in Trauma Patients With Hemorrhage From Torso Injury Occurs Long Before the “Golden Hour”. *Am J Surg.* 2016;212(6):1101–1105. PMID: 27832843 <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2016.08.018>
- Brown JB, Rosengart MR, Billiar TR, Peitzman AB, Sperry JL. Distance matters: Effect of geographic trauma system resource organization on fatal motor vehicle collisions. *J Trauma Acute Care Surg.* 2017;83(1):111–118. PMID: 28422905 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001508>
- Dooley JH, Ozdenerol E, Sharpe JP, Magnotti LJ, Croce MA, Fischer PE. Location, Location, Location: Utilizing Needs-Based Assessment of Trauma Systems-2 in Trauma System Planning. *J Trauma Acute Care*

- Surg.* 2020;88(1):94–100. PMID: 31856019 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002463>
40. Horst MA, Gross BW, Cook AD, Osler TM, Bradburn EH, Rogers FB. A novel approach to optimal placement of new trauma centers within an existing trauma system using geospatial mapping. *J Trauma Acute Care Surg.* 2017;83(4):705–710. PMID: 28590351 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001582>
 41. Tansley G, Schuurman N, Erdogan M, Bowes M, Green R, Asbridge M, et al. Development of a model to quantify the accessibility of a Canadian trauma system. *CJEM.* 2017;19(4):285–292. PMID: 28343457 <https://doi.org/10.1017/cem.2017.9>
 42. Jansen JO, Morrison JJ, Wang H, He S, Lawrenson R, Hutchison JD, et al. Access to specialist care: Optimizing the geographic configuration of trauma systems. *J Trauma Acute Care Surg.* 2015;79(5):756–765. PMID: 26353775 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000827>
 43. Brown JB, Rosengart MR, Billiar TR, Peitzman AB, Sperry JL. Geographic distribution of trauma centers and injury-related mortality in the United States. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016;80(1):42–49. PMID: 26517780 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000902>
 44. Winchell RJ, Xu P, Mount LE, Huegerich R. Development of a Geospatial Approach for the Quantitative Analysis of Trauma Center Access. *J Trauma Acute Care Surg.* 2019;86(3):397–405. PMID: 30531336 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002156>
 45. Amram O, Schuurman N, Yanchar NL, Pike I, Friger M, Griesdale D. Use of geographic information systems to assess the error associated with the use of place of residence in injury research. *Inj Epidemiol.* 2015;2(1):29. PMID: 26550555 <https://doi.org/10.1186/s40621-015-0059-y>
 46. Carr BG, Bowman AJ, Wolff CS, Mullen MT, Holena DN, Branas CC, et al. Disparities in access to trauma care in the United States: A population-based analysis. *Injury.* 2017;48(2):332–338. PMID: 28069138 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.01.008>
 47. Newgard CD, Fu R, Bulger E, Hedges JR, Mann NC, Wright DA, et al. Evaluation of Rural vs Urban Trauma Patients Served by 9-1-1 Emergency Medical Services. *JAMA Surg.* 2017;152(1):11–18. PMID: 27732713 <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2016.3329>
 48. Horst MA, Jammula S, Gross BW, Bradburn EH, Cook AD, Altenburg J, et al. Development of a trauma system and optimal placement of trauma centers using geospatial mapping. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018;84(3):441–448. PMID: 29283969 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001782>
 49. Smedley WA, Stone KL, Killian J, Brown A, Farley P, Griffin RL, et al. Population Coverage of Trauma Systems: What Do Helicopters Add? *Am Surg.* 2019;85(9):1073–1078. PMID: 31638527
 50. Brown JB, Gestring ML, Stassen NA, Forsythe RM, Billiar TR, Peitzman AB, et al. Geographic Variation in Outcome Benefits of Helicopter Transport for Trauma in the United States: A Retrospective Cohort Study. *Ann Surg.* 2016;263(2):406–412. PMID: 26479214 <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001047>
 51. Gomez D, Larsen K, Burns BJ, Dinh M, Hsu J. Optimizing access and configuration of trauma centre care in New South Wales. *Injury.* 2019;50(5):1105–1110. PMID: 30846283 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.02.018>
 52. Brown JB, Rosengart MR, Peitzman AB, Billiar TR, Sperry JL. Defining geographic emergency medical services coverage in trauma systems. *J Trauma Acute Care Surg.* 2019;87(1):92–99. PMID: 31260425 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000296>
 53. Hsia RY, Srebotnjak T, Maselli J, Crandall M, McCulloch C, Kellermann AL. The association of trauma center closures with increased inpatient mortality for injured patients. *J Trauma Acute Care Surg.* 2014;76(4):1048–1054. PMID: 24625549 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000166>
 54. Ciesla DJ, Pracht EE, Leitz PT, Spain DA, Staudenmayer KL, Tepas JJ 3rd. The trauma ecosystem: The impact and economics of new trauma centers on a mature statewide trauma system. *J Trauma Acute Care Surg.* 2017;82(6):1014–1022. PMID: 28328670 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001442>
 55. Pigneri DA, Beldowicz B, Jurkovich GJ. Trauma Systems: Origins, Evolution, and Current Challenges. *Surg Clin North Am.* 2017;97(5):947–959. PMID: 28958366 <https://doi.org/10.1016/j.suc.2017.06.011>
 56. Tepas JJ 3rd, Kerwin AJ, Ra JH. Unregulated proliferation of trauma centers undermines cost efficiency of population-based injury control. *J Trauma Acute Care Surg.* 2014;76(3):576–579. PMID: 24553522 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000125>
 57. Bell TM, Boustany KC, Jenkins PC, Zarza BL. The relationship between trauma center volume and in-hospital outcomes. *J Surg Res.* 2015;196(2):350–357. PMID: 25840485 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.02.009>
 58. Caputo LM, Salottolo KM, Slone DS, Mains CW, Bar-Or D. The relationship between patient volume and mortality in American trauma centres: a systematic review of the evidence. *Injury.* 2014;45(3):478–86. PMID: 24129325 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.09.038>
 59. Minei JP, Fabian TC, Guffey DM, Newgard CD, Bulger EM, Brasel KJ, et al. Increased trauma center volume is associated with improved survival after severe injury: results of a Resuscitation Outcomes Consortium study. *Ann Surg.* 2014;260(3):456–465. PMID: 25115421 <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000873>
 60. Calland JF, Stukenborg GJ. Trauma centre patient volume and inpatient mortality risk reconsidered. *Injury.* 2016;47(5):1072–1077. PMID: 26654874 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.11.017>
 61. Brown JB, Rosengart MR, Kahn JM, Mohan D, Zuckerbraun BS, Billiar TR, et al. Impact of Volume Change Over Time on Trauma Mortality in the United States. *Ann Surg.* 2017;266(1):173–178. PMID: 27308736 <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001838>
 62. Ashley DW, Pracht EE, Garlow LE, Medeiros RS, Atkins EV, Johns TJ, et al. Evaluation of the Georgia trauma system using the American College of Surgeons Needs Based Assessment of Trauma Systems tool. *Trauma Surg Acute Care Open.* 2018;3(1):e000188. PMID: 30402557 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000188>

REFERENCES

1. Dijkink S, Nederpelt CJ, Krijnen P, Velmahos GC, Schipper IB. Trauma systems around the world: A systematic overview. *J Trauma Acute Care Surg.* 2017;83(5):917–925. PMID: 28715361 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001633>
2. Weißbuch Schwerverletztenversorgung. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOU). Berlin; 2012. Available at: <http://www.dgu-online.de/qualitaet-sicherheit/schwerverletzte/weissbuch-schwerverletztenversorgung.html> [Accessed 18 Nov 2021]
3. David JS, Bouzat P, Raux M. Evolution and organisation of trauma systems. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2019;38(2):161–167. PMID: 29476943 <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2018.01.006>
4. Vali Y, Rashidian A, Jalili M, Omidvari AH, Jeddian A. Effectiveness of regionalization of trauma care services: a systematic review. *Public Health.* 2017;146:92–107. PMID: 28404479 <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2016.12.006>
5. American College of Surgeons Committee on Trauma. *Resources for Optimal Care of the Injured Patient.* 6th ed. Chicago, IL: American College of Surgeons Committee on Trauma; 2014. Available at: <https://www.facs.org/-/media/files/quality-programs/trauma/vrc-resources/resources-for-optimal-care.aspx> [Accessed 19 Nov 2021]
6. American College of Surgeons Committee on Trauma. Statement on trauma center designation based upon system need. *Bull Am Coll Surg.* 2015;100(1):51–52. PMID: 25626271
7. Zacher MT, Kanz KG, Hanschen M, Häberle S, van Griensven M, Lefering R, et al. Association between volume of severely injured patients and mortality in German trauma hospitals. *Br J Surg.* 2015;102(10):1213–1219. PMID: 26148791 <https://doi.org/10.1002/bjs.9866>
8. Jansen JO, Moore EE, Wang H, Morrison JJ, Hutchison JD, Campbell MK, et al. Maximizing geographical efficiency: An analysis of the configuration of Colorado's trauma system. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018;84(5):762–770. PMID: 29370062 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001802>
9. Pfeifer R, Halvachizadeh S, Schick S, Sprengel K, Jensen KO, Teuben M, et al. Are Pre-hospital Trauma Deaths Preventable? A Systematic

- Literature Review. *World J Surg.* 2019;43(10):2438–2446. PMID: 31214829 <https://doi.org/10.1007/s00268-019-05056-1>
10. Polites SF, Leonard JM, Glasgow AE, Zielinski MD, Jenkins DH, Habermann EB. Undertriage after severe injury among United States trauma centers and the impact on mortality. *Am J Surg.* 2018;216(4):813–818. PMID: 30241769 <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2018.07.061>
11. Staudenmayer K, Lin F, Mackersie R, Spain D, Hsia R. Variability in California triage from 2005 to 2009: a population-based longitudinal study of severely injured patients. *J Trauma Acute Care Surg.* 2014;76(4):1041–1047. PMID: 24662870 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000197>
12. van Rein EAJ, van der Sluijs R, Houwert RM, Gunning AC, Lichtveld RA, Leenen LPH, et al. Effectiveness of prehospital trauma triage systems in selecting severely injured patients: Is comparative analysis possible? *Am J Emerg Med.* 2018;36(6):1060–1069. PMID: 29395772 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.01.055>
13. Horst MA, Jammula S, Gross BW, Cook AD, Bradburn EH, Altenburg J, et al. Undertriage in trauma: Does an organized trauma network capture the major trauma victim? A statewide analysis. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018;84(3):497–504. PMID: 29283966 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001781>
14. Fagerlind H, Harvey L, Candefjord S, Davidsson J, Brown J. Does injury pattern among major road trauma patients influence prehospital transport decisions regardless of the distance to the nearest trauma centre? – a retrospective study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2019;27(1):18. PMID: 30760302 <https://doi.org/10.1186/s13049-019-0593-7>
15. Mans S, Reinders Folmer E, de Jongh MA, Lansink KW. Direct transport versus inter hospital transfer of severely injured trauma patients. *Injury.* 2016;47(1):26–31. PMID: 26510409 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.09.020>
16. Hamada SR, Delhaye N, Degoul S, Gauss T, Raux M, Devaud ML, et al. Direct transport vs secondary transfer to level I trauma centers in a French exclusive trauma system: Impact on mortality and determinants

- of triage on road-traffic victims. *PLoS One*. 2019;14(11):e0223809. PMID: 31751349 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223809>
17. Rozenberg A, Danish T, Dombrovskiy VY, Vogel TR. Outcomes After Motor Vehicle Trauma: Transfers to Level I Trauma Centers Compared With Direct Admissions. *J Emerg Med*. 2017;53(3):295–301. PMID: 28528722 <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.04.001>
 18. Gale SC, Peters J, Hansen A, Dombrovskiy VY, Detwiler PW. Impact of Transfer Distance and Time on Rural Brain Injury Outcomes. *Brain Inj*. 2016;30(4):437–440. PMID: 26963453 <https://doi.org/10.3109/0269905.2.2016.1140808>
 19. Pickering A, Cooper K, Harnan S, Sutton A, Mason S, Nicholl J. Impact of prehospital transfer strategies in major trauma and head injury: systematic review, meta-analysis, and recommendations for study design. *J Trauma Acute Care Surg*. 2015;78(1):164–177. PMID: 25539218 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000483>
 20. Renson A, Schubert FD, Gabbe LJ, Bjurlin MA. Interfacility Transfer is Associated with Lower Mortality in Undertriaged Gunshot Wound Patients. *J Surg Res*. 2019;236:74–82. PMID: 30694782 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.11.011>
 21. Gomez D, Alali AS, Xiong W, Zarzaar BL, Mann NC, Nathens AB. Definitive care in level 3 trauma centres after severe injury: A comparison of clinical characteristics and outcomes. *Injury*. 2015;46(9):1790–1795. PMID: 26071325 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.05.047>
 22. Vickers BP, Shi J, Lu B, Wheeler KK, Peng J, Groner JI, et al. Comparative study of ED mortality risk of US trauma patients treated at level I and level II vs nontrauma centers. *Am J Emerg Med*. 2015;33(9):1158–1165. PMID: 26066772 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.05.010>
 23. Bukur M, Teurel C, Catino J, Kurek S. The Price of Always Saying Yes: A Cost Analysis of Secondary Overtriage to an Urban Level I Trauma Center. *Am Surg*. 2018;84(8):1368–1375. PMID: 30185318
 24. Galanis DJ, Steinemann S, Rosen L, Bronstein AC, Biffi WL. Rural Level III centers in an inclusive trauma system reduce the need for interfacility transfer. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018;85(4):747–751. PMID: 30036262 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002033>
 25. Parikh PP, Parikh P, Mamer L, McCarthy MC, Sakran JV. Association of System-Level Factors with Secondary Overtriage in Trauma Patients. *JAMA Surg*. 2019;154(1):19–25. PMID: 30325989 <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2018.3209>
 26. Lynch KT, Essig RM, Long DM, Wilson A, Con J. Nationwide secondary overtriage in level 3 and level 4 trauma centers: are these transfers necessary? *J Surg Res*. 2016;204(2):460–466. PMID: 27565083 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.05.035>
 27. Brown E, Tohira H, Bailey P, Fatovich D, Pereira G, Finn J. Longer Prehospital Time was not Associated with Mortality in Major Trauma: A Retrospective Cohort Study. *Prehosp Emerg Care*. 2019;23(4):527–537. PMID: 30462550 <https://doi.org/10.1080/10903127.2018.1551451>
 28. Byrne JP, Mann NC, Hoeft CJ, Buick J, Karanicolos P, Rizoli S, et al. The impact of short prehospital times on trauma center performance benchmarking: An ecologic study. *J Trauma Acute Care Surg*. 2016;80(4):586–596. PMID: 26808027 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000974>
 29. Kim J, Song KJ, Shin SD, Ro YS, Hong KJ, Holmes JF. Does Prehospital Time Influence Clinical Outcomes in Severe Trauma Patients?: A Cross Sectional Study. *Prehosp Emerg Care*. 2017;21(4):466–475. PMID: 28489503 <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1294225>
 30. Newgard CD, Meier EN, Bulger EM, Buick J, Sheehan K, Lin S, et al. Revisiting the “Golden Hour”: An Evaluation of Out-of-Hospital Time in Shock and Traumatic Brain Injury. *Ann Emerg Med*. 2015;66(1):30–41. PMID: 25596960 <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2014.12.004>
 31. Brown JB, Rosengart MR, Forsythe RM, Reynolds BR, Gestring ML, Hallinan WM, et al. Not all prehospital time is equal: Influence of scene time on mortality. *J Trauma Acute Care Surg*. 2016;81(1):93–100. PMID: 26886000 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000999>
 32. Harmsen AM, Giannakopoulos GF, Moerbeek PR, Jansma EP, Bonjer HJ, Bloemers FW. The influence of prehospital time on trauma patients outcome: a systematic review. *Injury*. 2015;46(4):602–609. PMID: 25627482 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.01.008>
 33. Jarman MP, Curriero FC, Haut ER, Pollack Porter K, Castillo RC. Associations of Distance to Trauma Care, Community Income, and Neighborhood Median Age with Rates of Injury Mortality. *JAMA Surg*. 2018;153(6):535–543. PMID: 29417146 <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2017.6133>
 34. Tansley G, Schuurman N, Bowes M, Erdogan M, Green R, Asbridge M, et al. Effect of predicted travel time to trauma care on mortality in major trauma patients in Nova Scotia. *Can J Surg*. 2019;62(2):123–130. PMID: 30907993 <https://doi.org/10.1503/cjs.004218>
 35. Hu W, Dong Q, Huang B. Effects of distance and rescue time to medical facilities on traffic mortality utilizing GIS. *Int J Inj Contr Saf Promot*. 2018;25(3):329–335. PMID: 29460672 <https://doi.org/10.1080/1745730.2018.1431931>
 36. Clements TW, Vogt K, Hameed SM, Parry N, Kirkpatrick AW, Grondin SC, et al. Does increased prehospital time lead to a “trial of life” effect for patients with blunt trauma? *J Surg Res*. 2017;216:103–108. PMID: 28807193 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.04.027>
 37. Alarhayem AQ, Myers JG, Dent D, Liao L, Muir M, Mueller D, et al. Time Is the Enemy: Mortality in Trauma Patients With Hemorrhage From Torso Injury Occurs Long Before the “Golden Hour”. *Am J Surg*. 2016;212(6):1101–1105. PMID: 27832843 <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2016.08.018>
 38. Brown JB, Rosengart MR, Billiar TR, Peitzman AB, Sperry JL. Distance matters: Effect of geographic trauma system resource organization on fatal motor vehicle collisions. *J Trauma Acute Care Surg*. 2017;83(1):111–118. PMID: 28422905 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001508>
 39. Dooley JH, Ozdenerol E, Sharpe JP, Magnotti LJ, Croce MA, Fischer PE. Location, Location, Location: Utilizing Needs-Based Assessment of Trauma Systems-2 in Trauma System Planning. *J Trauma Acute Care Surg*. 2020;88(1):94–100. PMID: 31856019 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002463>
 40. Horst MA, Gross BW, Cook AD, Osler TM, Bradburn EH, Rogers FB. A novel approach to optimal placement of new trauma centers within an existing trauma system using geospatial mapping. *J Trauma Acute Care Surg*. 2017;83(4):705–710. PMID: 28590351 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001582>
 41. Tansley G, Schuurman N, Erdogan M, Bowes M, Green R, Asbridge M, et al. Development of a model to quantify the accessibility of a Canadian trauma system. *CJEM*. 2017;19(4):285–292. PMID: 28343457 <https://doi.org/10.1017/cem.2017.9>
 42. Jansen JO, Morrison JJ, Wang H, He S, Lawrenson R, Hutchison JD, et al. Access to specialist care: Optimizing the geographic configuration of trauma systems. *J Trauma Acute Care Surg*. 2015;79(5):756–765. PMID: 26335775 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000827>
 43. Brown JB, Rosengart MR, Billiar TR, Peitzman AB, Sperry JL. Geographic distribution of trauma centers and injury-related mortality in the United States. *J Trauma Acute Care Surg*. 2016;80(1):42–49. PMID: 26517780 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000902>
 44. Winchell RJ, Xu P, Mount LE, Huegerich R. Development of a Geospatial Approach for the Quantitative Analysis of Trauma Center Access. *J Trauma Acute Care Surg*. 2019;86(3):397–405. PMID: 30531536 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002156>
 45. Amram O, Schuurman N, Yanchar NL, Pike I, Friger M, Griesdale D. Use of geographic information systems to assess the error associated with the use of place of residence in injury research. *Inj Epidemiol*. 2015;2(1):29. PMID: 26550555 <https://doi.org/10.1186/s40621-015-0059-y>
 46. Carr BG, Bowman AJ, Wolff CS, Mullen MT, Holena DN, Branas CC, et al. Disparities in access to trauma care in the United States: A population-based analysis. *Injury*. 2017;48(2):332–338. PMID: 28069138 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.01.008>
 47. Newgard CD, Fu R, Bulger E, Hedges JR, Mann NC, Wright DA, et al. Evaluation of Rural vs Urban Trauma Patients Served by 9-1-1 Emergency Medical Services. *JAMA Surg*. 2017;152(1):11–18. PMID: 27732713 <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2016.3329>
 48. Horst MA, Jammula S, Gross BW, Bradburn EH, Cook AD, Altenburg J, et al. Development of a trauma system and optimal placement of trauma centers using geospatial mapping. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018;84(3):441–448. PMID: 29283969 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001782>
 49. Smedley WA, Stone KL, Killian J, Brown A, Farley P, Griffin RL, et al. Population Coverage of Trauma Systems: What Do Helicopters Add? *Am Surg*. 2019;85(9):1073–1078. PMID: 31638527
 50. Brown JB, Gestring ML, Stassen NA, Forsythe RM, Billiar TR, Peitzman AB, et al. Geographic Variation in Outcome Benefits of Helicopter Transport for Trauma in the United States: A Retrospective Cohort Study. *Ann Surg*. 2016;263(2):406–412. PMID: 26479214 <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001047>
 51. Gomez D, Larsen K, Burns BJ, Dinh M, Hsu J. Optimizing access and configuration of trauma center care in New South Wales. *Injury*. 2019;50(5):1105–1110. PMID: 30846283 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.02.018>
 52. Brown JB, Rosengart MR, Peitzman AB, Billiar TR, Sperry JL. Defining geographic emergency medical services coverage in trauma systems. *J Trauma Acute Care Surg*. 2019;87(1):92–99. PMID: 31260425 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002296>
 53. Hsia RY, Srebotnjak T, Maselli J, Crandall M, McCulloch C, Kellermann AL. The association of trauma center closures with increased inpatient mortality for injured patients. *J Trauma Acute Care Surg*. 2014;76(4):1048–1054. PMID: 24625549 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001166>
 54. Ciesla DJ, Pracht EE, Leitz PT, Spain DA, Staudenmayer KL, Tepas JJ 3rd. The trauma ecosystem: The impact and economics of new trauma centers on a mature statewide trauma system. *J Trauma Acute Care Surg*. 2017;82(6):1014–1022. PMID: 28328670 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001442>
 55. Pigneri DA, Beldowicz B, Jurkovich GJ. Trauma Systems: Origins, Evolution, and Current Challenges. *Surg Clin North Am*. 2017;97(5):947–959. PMID: 28958366 <https://doi.org/10.1016/j.suc.2017.06.011>
 56. Tepas JJ 3rd, Kerwin AJ, Ra JH. Unregulated proliferation of trauma centers undermines cost efficiency of population-based injury control. *J Trauma Acute Care Surg*. 2014;76(3):576–579. PMID: 24535522 <https://doi.org/10.1097/TA.000000000000125>
 57. Bell TM, Boustany KC, Jenkins PC, Zarzaar BL. The relationship between trauma center volume and in-hospital outcomes. *J Surg*

- Res. 2015;196(2):350–357. PMID: 25840485 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.02.009>
58. Caputo LM, Salottolo KM, Slone DS, Mains CW, Bar-Or D. The relationship between patient volume and mortality in American trauma centres: a systematic review of the evidence. *Injury*. 2014;45(3):478–486. PMID: 24129325 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.09.038>
59. Minei JP, Fabian TC, Guffey DM, Newgard CD, Bulger EM, Brasel KJ, et al. Increased trauma center volume is associated with improved survival after severe injury: results of a Resuscitation Outcomes Consortium study. *Ann Surg*. 2014;260(3):456–465. PMID: 25115421 <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000873>
60. Calland JF, Stukenborg GJ. Trauma centre patient volume and inpatient mortality risk reconsidered. *Injury*. 2016;47(5):1072–1077. PMID: 26654874 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.11.017>
61. Brown JB, Rosengart MR, Kahn JM, Mohan D, Zuckerbraun BS, Billiar TR, et al. Impact of Volume Change Over Time on Trauma Mortality in the United States. *Ann Surg*. 2017;266(1):173–178. PMID: 27308736 <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001838>
62. Ashley DW, Pracht EE, Garlow LE, Medeiros RS, Atkins EV, Johns TJ, et al. Evaluation of the Georgia trauma system using the American College of Surgeons Needs Based Assessment of Trauma Systems tool. *Trauma Surg Acute Care Open*. 2018;3(1):e000188. PMID: 30402557 <https://doi.org/10.1136/tsaco-2018-000188>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шапкин Юрий Григорьевич

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей хирургии ФГБОУ ВО «СГМУ им. В.И. Разумовского» МЗ РФ;

<https://orcid.org/0000-0003-0186-1892>, shapkinyurii@mail.ru;

40%: концепция и дизайн исследования, редактирование и утверждение окончательного варианта рукописи статьи

Селиверстов Павел Андреевич

кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «СГМУ им. В.И. Разумовского» МЗ РФ;

<https://orcid.org/0000-0002-3416-0470>, seliwerstov.pl@yandex.ru;

35%: анализ и интерпретация данных, написание текста статьи

Стекольников Николай Юрьевич

кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «СГМУ им. В.И. Разумовского» МЗ РФ;

<https://orcid.org/0000-0002-1407-8744>, nimph2008@yandex.ru;

25%: поиск и отбор литературных источников

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Geospatial Distribution of Hospital Resources in Regional Trauma Systems (Review of Foreign Literature)

Y.G. Shapkin, P.A. Seliverstov✉, N.Y. Stekolnikov

Chair of general surgery

V.I. Razumovsky Saratov State Medical University

112 Bolshaya Kazachya St., Saratov 410012, Russian Federation

✉ **Contacts:** Pavel A. Seliverstov, Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of General Surgery of V.I. Razumovsky Saratov State Medical University. Email: seliwerstov.pl@yandex.ru

ABSTRACT The review presents the results of foreign studies related to geospatial analysis and modeling of the distribution of trauma centers and helicopter emergency medical services in developed regional trauma systems. The optimal number and geographical location of the trauma centers in the region is determined taking into account the timing of the delivery of victims to the trauma centers of a high level, population density, hospitalization of patients with severe trauma, and the frequency of inter-hospital transfers. The distribution of hospital resources of the trauma system should be based on the needs of the population, and vary depending on the geographical and social characteristics of the region.

Keywords: trauma system, trauma center, major trauma, prehospital time, helicopter transport, geospatial analysis

For citation Shapkin YG, Seliverstov PA, Stekolnikov NY. Geospatial Distribution of Hospital Resources in Regional Trauma Systems (Review of Foreign Literature). *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2021;10(4):728–736. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2021-10-4-728-736> (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments, sponsorship The study has no sponsorship

Affiliations

Yuriy G. Shapkin

Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief of the Department of General Surgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University;

<https://orcid.org/0000-0003-0186-1892>, shapkinyurii@mail.ru;

40%, concept and design of the study, editing and approval of the final version of the manuscript of the article

Pavel A. Seliverstov

Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor of the Department of General Surgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University;

<http://orcid.org/0000-0002-3416-0470>, seliwerstov.pl@yandex.ru;

35%, data analysis and interpretation, article writing

Nikolay Y. Stekolnikov

Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor of the Department of General Surgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University;

<https://orcid.org/0000-0002-1407-8744>, nimph2008@yandex.ru;

25%, search and selection of literary sources

Received on 29.04.2020

Review completed on 08.06.2020

Accepted on 28.09.2021

Поступила в редакцию 29.04.2020

Рецензирование завершено 08.06.2020

Принята к печати 28.09.2021