

DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-100-111>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТААНАЛИЗ ИМПЛАНТ-АССОЦИИРОВАННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ И ЧАСТОТЫ СПОНДИЛОДЕЗА ПРИ МЕТОДЕ GOEL–HARMS И ЗАДНЕЙ ТРАНСАРТИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ C₁–C₂ ПО МЕТОДУ F. MAGERL

А.А. Гринь^{1,2}, А.Э. Талыпов^{1,2}, А.Ю. Кордонский¹, З.А. Барбакадзе¹

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы», отделение неотложной нейрохирургии;

²кафедра фундаментальной нейрохирургии факультета дополнительного профессионального образования ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 117513 Москва, ул. Островитянова, 1

Контакты: Антон Юрьевич Кордонский kordonskii.anton@rambler.ru

Трансартикулярная фиксация (ТАФ) C₁–C₂-позвонков по технике F. Magerl и методика Goel–Harms (GHT) – два наиболее популярных способа формирования спондилодеза на атлантоаксиальном уровне. Тем не менее сравнительных исследований применения этих методов с высоким уровнем доказательности в настоящее время в литературе не опубликовано.

Цель данного исследования – проведение сравнительного метаанализа частоты развития имплант-ассоциированных осложнений и спондилодеза. Первоначальный поиск выявил более 5000 абстрактов, после применения фильтров были отобраны 202 исследования, из них 16 работ соответствовали необходимым критериям и были включены в настоящее исследование. По результатам метаанализа не было обнаружено достоверных различий между методами Goel–Harms и F. Magerl как в показателях продолжительности операции и интраоперационной кровопотери, так и в частоте развития послеоперационных имплант-ассоциированных осложнений и спондилодеза C₁–C₂-позвонков.

Ключевые слова: трансартикулярная фиксация, методика Goel–Harms, спондилодез, имплант-ассоциированные осложнения, метаанализ

Для цитирования: Гринь А.А., Талыпов А.Э., Кордонский А.Ю., Барбакадзе З.А. Сравнительный метаанализ имплант-ассоциированных осложнений и частоты спондилодеза при методе Goel–Harms и задней трансартикулярной фиксации C₁–C₂ по методу F. Magerl. Нейрохирургия 2024;26(2):100–11.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-100-111>

Comparative meta-analysis of implant-associated complications and spinal fusion incidence in Goel–Harms technique and posterior C₁–C₂ transarticular screw fixation per F. Magerl

A.A. Grin^{1,2}, A.E. Talypov^{1,2}, A. Yu. Kordonskiy¹, Z.A. Barbakadze¹

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;

²Department of Fundamental Surgery of the Faculty of Additional Professional Education, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; 1 Ostrovityanova St., Moscow 117997, Russia

Contacts: Anton Yuryevich Kordonskiy kordonskii.anton@rambler.ru

Transarticular fixation (TAF) of C₁–C₂ using the F. Magerl method and the Goel–Harms technique (GHT) are the two most popular ways of forming spondylosis at the atlantoaxial level. Nevertheless, comparative studies with a high level of evidence have not been published at present.

The aim of the study was to conduct a comparative meta-analysis of the incidence of implant-associated complications and fusion. The initial search in revealed more than 5,000 abstracts, after applying filters, 202 studies were selected,

of which 16 works were included in this study. According to the results of the meta-analysis, no significant differences were found between the methods of Goel–Harms and F. Magerl in the duration of surgery and intraoperative blood loss, as well as in the frequency of postoperative implant-associated complications and spinal fusion of C₁–C₂ vertebrae.

Keywords: transarticular screw fixation, Goel–Harms technique, spondylodesis, implant-associated complications, meta-analysis

For citation: Grin A.A., Talypov A.E., Kordonsky A.Y., Barbakadze Z.A. Comparative meta-analysis of implant-associated complications and spinal fusion incidence in Goel–Harms technique and posterior C₁–C₂ transarticular screw fixation per F. Magerl. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2024;26(2):100–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-100-111>

ВВЕДЕНИЕ

Трансартикулярная фиксация (ТАФ) C₁–C₂-позвонков по технике F. Magerl и методика Goel–Harms (Goel–Harms technique, GHT) являются двумя наиболее популярными способами формирования спондилодеза на атлантоаксиальном уровне [1, 2]. Несмотря на большой опыт применения ТАФ, данная методика специалистами в области спинальной хирургии считается наиболее опасной с точки зрения частоты формирования имплант-ассоциированных осложнений, особенно ранения позвоночной артерии (ПА). Некоторые авторы работ с сериями наблюдений [3, 4], а также метаанализов [5, 6] обосновывают выбор GHT наибольшей безопасностью и надежностью методики. Тем не менее сравнительных исследований по применению этих методик с высоким уровнем доказательности в настоящее время в литературе не опубликовано. Единственный сравнительный метаанализ [7], содержащий данные пациентов как после ТАФ, так и после GHT, включает не все опубликованные на тот момент исследования. Авторы использовали всего 6 из 16 опубликованных работ, что является причиной формирования публикационного смещения и неправильных выводов.

Цель исследования — провести сравнительный метаанализ частоты развития имплант-ассоциированных осложнений и спондилодеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выбор статей. Систематический обзор был выполнен в соответствии с рекомендациями, отраженными в PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, предпочтительные сообщения о результатах исследований для систематических обзоров и метаанализов) [8]. Поиск в базе данных PubMed (раздел MEDLINE) осуществляли с использованием запроса: (“fixation” [Title/Abstract] OR “stabilization” [Title/Abstract] OR “arthrodesis” [Title/Abstract] OR “spondylodesis” [Title/Abstract]) AND (“C1” [Title/Abstract] OR “C2” [Title/Abstract] OR “C1–C2” [Title/Abstract] OR “craniovertebral” [Title/Abstract] OR “atlantoaxial” [Title/Abstract]).

Критерии включения в исследование: 1) наличие в доступе полнотекстовой версии статьи на английском или русском языках; 2) использование в исследова-

нии методов ТАФ и GHT на 2 выборках пациентов; 3) возраст пациентов >18 лет; 4) описание частоты развития спондилодеза и/или имплант-ассоциированных осложнений; 5) публикация исследования начиная с января 1987 г. Все статьи, не соответствующие данным критериям, были исключены из исследования. Алгоритм поиска и выбора статей представлен на рис. 1.

Сбор данных. Данные из каждой статьи вносили в соответствующую ячейку таблицы. Если соответствующая информация в тексте статьи отсутствовала, ячейки помечали как «н. д.» (нет данных).

Базовая информация включала: размер выборки, средний, минимальный и максимальный возраст пациентов, распределение по полу, диагноз. Основной блок данных включал следующую информацию: среднее время операции и его стандартное отклонение, средний объем кровопотери и его стандартное отклонение, повреждение ПА, мальпозиция винта в сторону ПА, другие виды мальпозиций, симптомы ирритации корешка C₂ (боль или гиперестезия, сохраняющиеся не менее 4 нед после операции и снижающие качество жизни пациента), несостоятельность металлоконструкции (перелом ее элементов или лизис кости вокруг винтов), радиологические результаты проведенной операции (спондилодез).

Статистический анализ. Статистический анализ проводили при помощи программы Statistica v.12 (StatSoft Inc., США). Нормальность распределения данных определяли при помощи теста Шапиро–Уилка. При сравнении групп с нормальным распределением данных применяли t-критерий Стьюдента. В случае ненормального распределения данных использовали тест Манна–Уитни.

Метаанализ был выполнен в программе Comprehensive Meta-analysis v. 2.2.064 (Biostat, США). Оценку гетерогенности проводили при помощи теста I². Если параметр I² был <50 %, гетерогенность считали низкой, 50–75 % — умеренной, >75 % — высокой [9]. При отсутствии доказательств статистической гетерогенности между исследованиями использовали модель с фиксированными эффектами. В остальных случаях применяли модель случайных эффектов (DerSimonian–Laird). Наличие публикационного смещения признавалось в случае $p < 0,05$ при проведении Begg’s test.

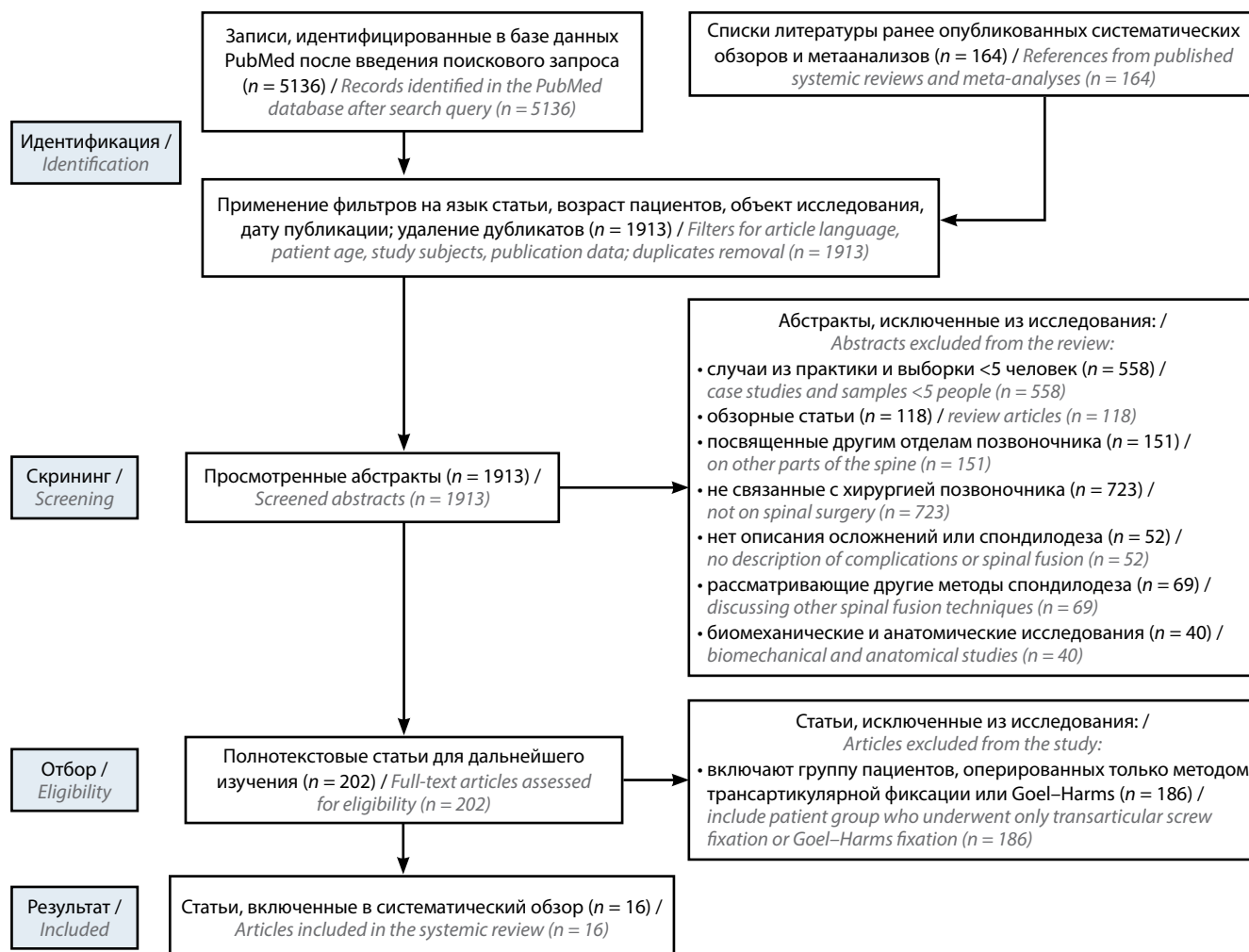


Рис. 1. Алгоритм поиска и отбора статей PRISMA

Fig. 1. PRISMA algorithm of article search and selection

Для сравнения частоты развития имплант-ассоциированных осложнений использовали отношение шансов (ОШ). Разницу считали статистически достоверной, если ОШ было в пределах 95 % доверительного интервала (ДИ) строго больше или меньше 1.

При сравнении объема кровопотери и времени операции применяли стандартизованную разность средних (standardised mean difference, SMD). Результат демонстрировали в виде 95 % ДИ. В случае, если весь интервал был строго больше или меньше 0, разницу считали статистически достоверной.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Отбор статей. Начальный поиск в базе данных в PubMed выявил более 5000 абстрактов. После применения фильтра по дате публикации, возрасту пациентов и языку статьи оставшиеся резюме работ были просмотрены. В результате начального поиска были отобраны 202 исследования для изучения полнотекстовых версий. Из них 16 работ соответствовали необходимым критериям и были включены в настоящее

исследование (см. рис. 1). Всего в этих 16 работах были представлены данные лечения 950 пациентов. В группу ГНТ вошли 469 пациентов, в группу ТАФ — 481 пациент. Статистический анализ продемонстрировал отсутствие статистически достоверной разницы между этими 2 группами по демографическим показателям, среднему возрасту, сроку послеоперационного наблюдения и диагнозу (табл. 1).

Характеристика исследований, включенных в метаанализ, представлена в табл. 2 [3, 10–24].

Сравнение интраоперационных показателей. Данные, необходимые для проведения сравнительного анализа (среднее значение и стандартное отклонение) продолжительности операции и объема интраоперационной кровопотери, были опубликованы в восьми [13–18, 21, 22] и шести [14–18, 21] статьях соответственно. Исследования характеризовались высокой степенью гетерогенности, в связи с чем была использована модель случайных эффектов. Статистически достоверной разницы в продолжительности операции получено не было (SMD –0,21; 95 % ДИ –0,79, 0,37) (рис. 2).

Таблица 1. Сравнение исследуемых групп по демографическим показателям и причинам атлантоаксиальной нестабильности**Table 1.** Comparison of the studied groups per demographic characteristics and causes of atlantoaxial instability

Показатель Parameter	Группа ГНТ (n = 469) GHT group (n = 469)	Группа ТАФ (n = 481) TAF group (n = 481)	p
Средний возраст, лет Mean age, years	49,5	47,1	0,51**
Пол, %: Sex, %:			
мужской male	43,5	42,2	0,76*
женский female	56,5	57,8	0,82*
Средняя продолжительность наблюдения за пациентами, мес Mean follow-up period, months	26,1	33,9	0,33**
Диагноз, %: Diagnosis, %:			
перелом позвонков C ₁ , C ₂ fracture of the C ₁ , C ₂ vertebrae	38,7	30,1	0,62*
ревматоидный артрит rheumatoid arthritis	31,4	27,7	0,52*
os odontoidum	13,9	8,1	0,76*
другие причины other causes	16	7,3	0,25*

*Тест Манна–Уитни; **t-критерий Стьюдента.

*Mann–Whitney test; **Student's t-test.

Примечание. ТАФ – трансартрикулярная фиксация; ГНТ – методика Goel–Harms.

Note. TAF – transarticular screw fixation; GHT – Goel–Harms technique.

Также не было достоверных различий в объеме интраоперационной кровопотери (SMD 0,095; 95 % ДИ –0,41, 0,60) (рис. 3).

Анализ имплант-ассоциированных осложнений. Указание на наличие или отсутствие повреждения ПА имело место в 15 работах. Из них в 5 работах [13, 14, 17, 21, 22] частота данного осложнения в обеих группах была равна нулю, поэтому при подсчете ОШ данные работы не учитывали. Повреждение ПА реже встречалось при методе ГНТ, чем при ТАФ, однако разница в частоте была статистически недостоверна (ОШ 0,55; 95 % ДИ 0,23–1,21) (рис. 4).

Факт наличия или отсутствия мальпозиции винта с перфорацией канала ПА для обеих групп был отмечен в 8 работах, в 3 из них [10, 11, 21] ее частота составила 0 %. Достоверной разницы в частоте развития данного осложнения между исследуемыми группами выявлено не было (ОШ 0,77; 95 % ДИ 0,25–2,40) (рис. 5).

Факт наличия или отсутствия мальпозиции винта в других направлениях был отражен в 8 работах, в 4 из них [10, 13, 21] ее частота составила 0 %. Достоверной разницы между группами в частоте развития мальпозиций винтов выявлено не было (ОШ 0,89; 95 % ДИ 0,23–3,44) (рис. 6).

Указание на наличие или отсутствие радикулопатии C₂ после операции имело место в 9 исследованиях, в 5 из них [10, 15, 18, 19, 24] частота компрессии корешка C₂ составила 0 %. Данное осложнение чаще

развивалось при использовании метода ГНТ, однако разница в частоте осложнения была статистически недостоверна (ОШ 1,3; 95 % ДИ 0,3–5,7) (рис. 7).

Наличие или отсутствие несостоятельности фиксации в виде поломки имплантов или лизиса кости вокруг винта были отмечены в 12 работах. В анализ были включены 5 статей (рис. 8). Достоверной разницы в формировании несостоятельности фиксации C₁–C₂ между группами выявлено не было (ОШ 0,49; 95 % ДИ 0,16–1,46).

Анализ отдаленных результатов хирургического лечения. Формирование спондилодеза было отмечено в 13 исследованиях, в 6 из них [12, 13, 16, 17, 21, 22] в обеих группах костное сращение было зафиксировано в 100 % случаев: эти работы не учитывали при подсчете ОШ. В группе ГНТ частота формирования спондилодеза была выше, однако разница была статистически недостоверна (ОШ 1,97; 95 % ДИ 0,93–4,16) (рис. 9).

Публикационное смещение. Публикационное смещение отсутствовало при анализе всех исследуемых показателей (рис. 10). Результаты Begg's test для исследуемых параметров составили: 1) ранение ПА: $p = 0,12$; 2) мальпозиция винта в направлении ПА: $p = 0,16$; 3) другие виды мальпозиций: $p = 0,09$; 4) послеоперационная радикулопатия C₂: $p = 0,25$; 5) несостоятельность фиксации: $p = 0,07$; 6) формирование спондилодеза: $p = 0,65$; 6) продолжительность операции: $p = 0,46$; 7) объем интраоперационной кровопотери: $p = 0,85$.

Таблица 2. Интраоперационные параметры, имплант-ассоциированные осложнения и исходы в анализируемых исследованиях
Table 2. Intraoperative parameters, implant-associated complications, and outcomes in the analyzed studies

Исследо- вание Study	Метод Method	Число па- циентов Number of patients	Время опера- ции, мин Duration of surgery, min	Интраоперационная кровопотеря, мл Intraoperative blood loss, ml	Поврежде- ние ПА VA damage	Мальпозиция в направлении ПА Malposition in the VA direction	Другие мальпозиции Other malpositions	Радикло- патия C ₂ C ₂ radiculo- pathy	Несостоятель- ность фиксации Fixation failure	Спондилодез, % Spinal fusion, %
M.A. El Masry et al., 2007 [10]	GHT	13	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	0	0	0	0	100
	ТАФ TAF	24	н. д. n. d.	н. д. n. d.	1	0	0	0	0	95,8
S.H. Lee et al., 2010 [11]	GHT	27	169	730	1	0	0	1	1	96
	ТАФ TAF	28	176	360	1	0	н. д. n. d.	0	3	85,7
G. Yoshida et al., 2010 [12]	GHT	30	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	100
	ТАФ TAF	35	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	100
P. Vergara et al., 2012 [3]	GHT	47	112,17	1323,08	1	н. д. n. d.	н. д. n. d.	1	1	100
	ТАФ TAF	76	103,66	726,19	10	0	1	2	7	80,4
C. Weng et al., 2012 [13]	GHT	11	101,8 ± 13,8	н. д. n. d.	0	2	0	н. д. n. d.	0	100
	ТАФ TAF	8	106,3 ± 16	н. д. n. d.	0	1	0	н. д. n. d.	0	100
J.Y. Kim et al., 2014 [14]	GHT	27	144 ± 41	229 ± 178	0	1	4	н. д. n. d.	2	88,9
	ТАФ TAF	14	219 ± 68	445 ± 219	0	2	1	н. д. n. d.	1	88,9
R.N. Dunn, H. Stander, 2014 [15]	GHT	15	95 ± 38,1	250 ± 242,1	1	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	0	100
	ТАФ TAF	27	90 ± 32,9	150 ± 153	4	н. д. n. d.	2	0	1	96,3
S. Oshima et al., 2015 [16]	GHT	22	89,3 ± 21	66,7 ± 93,8	0	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	100
	ТАФ TAF	20	119,8 ± 39,7	77,3 ± 63,3	1	0	0	н. д. n. d.	0	100

Окончание табл. 2
End of table 2

Исследование Study	Метод Method	Число пациентов Number of patients	Время операции, мин Duration of surgery, min	Интраоперационная кровопотеря, мл Intraoperative blood loss, ml	Повреждение ПА VA damage	Мальпозиция в направлении ПА Malposition in the VA direction	Другие мальпозиции Other malpositions	Радикулит С ₂ C ₂ radiculopathy	Несостоятельность фиксации Fixation failure	Спондилодез, % Spinal fusion, %
B. Ni et al., 2017 [17]	GHT	30	120,8 ± 7,2	208,8 ± 35,9	0	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	100
	ТАФ TAF	30	124,6 ± 6,2	213,5 ± 39,4	0	0	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	100
P. Rajinda et al., 2016 [18]	GHT	60	119,8 ± 24,7	233,5 ± 101,1	0	2	0	0	0	96,7
	ТАФ TAF	45	104,3 ± 20,9	179,3 ± 173,6	2	2	1	0	0	95,6
J.I. Ryu et al., 2017 [19]	GHT	25	н. д. n. d.	н. д. n. d.	1	1	0	0	0	100
	ТАФ TAF	33	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	0	1	0	0	97
V. Velho, S.A. Giri, 2018 [20]	GHT	35	н. д. n. d.	н. д. n. d.	1	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.
	ТАФ TAF	15	н. д. n. d.	н. д. n. d.	2	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.
K. Wada et al., 2020 [21]	GHT	15	212 ± 45,6	185,2 ± 120	0	0	0	2	0	100
	ТАФ TAF	13	166,3 ± 54,2	79,7 ± 67,7	0	0	0	0	0	100
T. Bunma- prasert et al., 2021 [22]	GHT	11	146,2 ± 28,7	200	0	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	0	100
	ТАФ TAF	10	152,5 ± 45	150	0	н. д. n. d.	н. д. n. d.	1	0	100
F.S. Kleins- tück et al., 2021 [23]	GHT	49	н. д. n. d.	н. д. n. d.	2	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.
	ТАФ TAF	77	н. д. n. d.	н. д. n. d.	0	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.	н. д. n. d.
C. Tatter et al., 2022 [24]	GHT	52	155	500	2	1	2	0	2	н. д. n. d.
	ТАФ TAF	26	143	150	0	1	1	0	1	н. д. n. d.

Примечание. GHT — метод фиксации Goel–Harms; ТАФ — трансартрикулярная фиксация; ПА — позвоночная артерия; н. д. — нет данных.

Note. GHT — Goel–Harms technique; TAF — transarticular screw fixation; VA — vertebral artery; n. d. — no data.

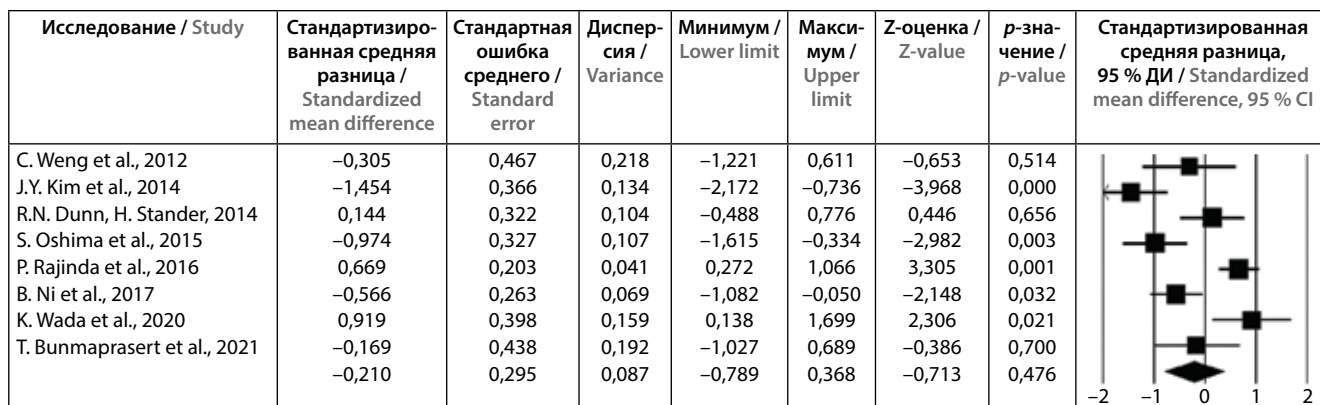


Рис. 2. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая стандартизованную разность средних показателей продолжительности операции для исследуемых групп. Модель случайных эффектов, $I^2 = 84,7$

Fig. 2. Forest plot demonstrating standardized difference of mean operative times for the studied groups. Random effect model, $I^2 = 84.7$

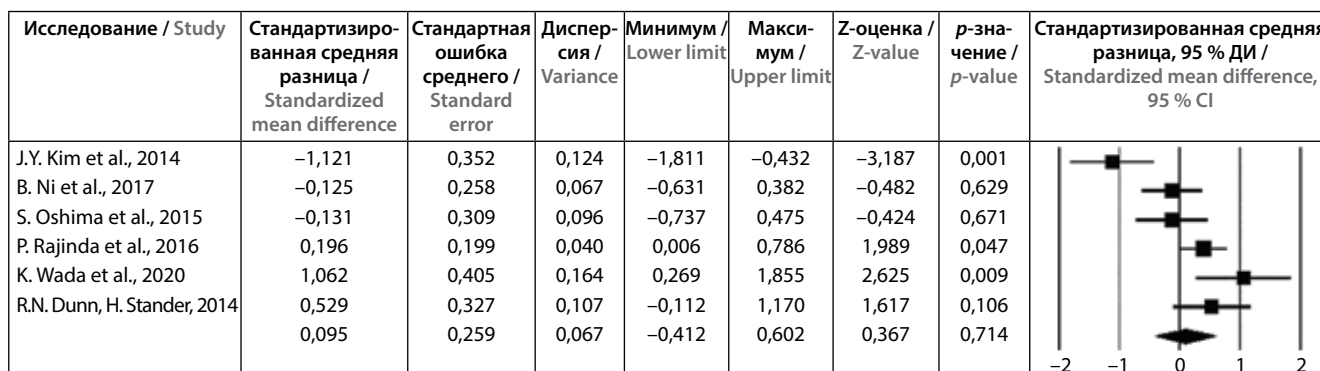


Рис. 3. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая стандартизованную разность средних показателей интраоперационной кровопотери для исследуемых групп. Модель случайных эффектов, $I^2 = 78,2$

Fig. 3. Forest plot demonstrating standardized difference of mean intraoperative blood loss in the studied groups. Random effect model, $I^2 = 78.2$



Рис. 4. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая отношение шансов ранения позвоночной артерии при методе ГХТ по сравнению с ТАФ. Модель фиксированных эффектов, $I^2 = 0$. Здесь и на рис. 5–9: ГХТ – метод фиксации Goel–Harms; ТАФ – трансартикулярная фиксация

Fig. 4. Forest plot demonstrating odds ratio for vertebral artery injury in GHT compared to TAF. Random effect model, $I^2 = 0$. Here and on Fig. 5–9: GHT – Goel–Harms technique; TAF – transarticular screw fixation

ОБСУЖДЕНИЕ

Вопрос выбора метода спондилодеза C_1 – C_2 -позвонков при атлантаксальной нестабильности остается в настоящее время одним из наиболее дискус-

бельных. ТАФ и ГХТ позволяют наиболее жестко фиксировать позвонки краниовертебрального перехода по сравнению с прочими методами атлантаксального спондилодеза. Метод ГХТ в настоящее время

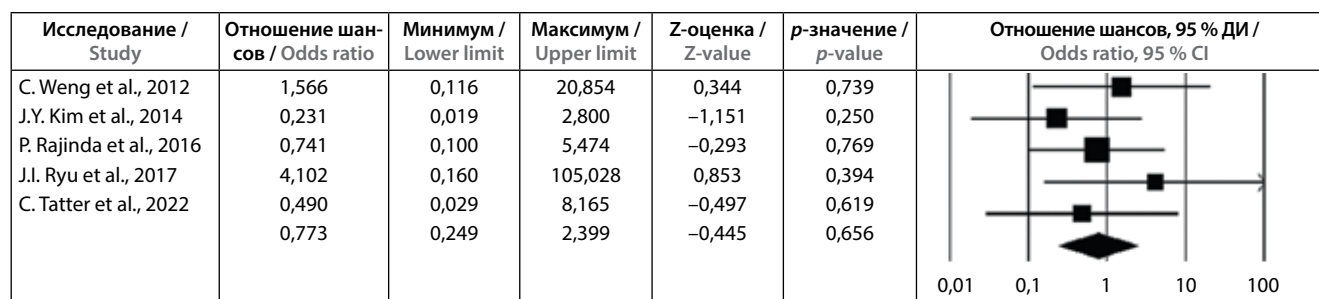


Рис. 5. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая отношение шансов перфорации канала позвоночной артерии винтом при методе GHT по сравнению с ТАФ. Модель фиксированных эффектов, $I^2 = 0$

Fig. 5. Forest plot demonstrating odds ratio for perforation of the vertebral artery canal with a screw in GHT compared to TAF. Random effect model, $I^2 = 0$

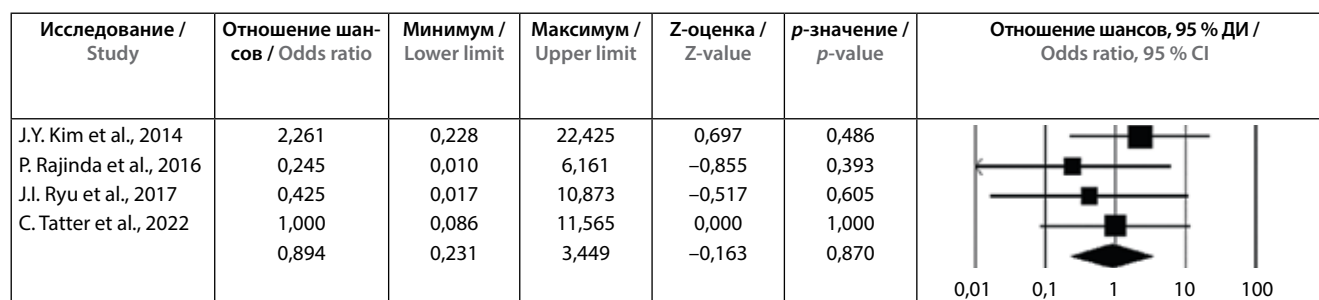


Рис. 6. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая отношение шансов мальпозиции винтов при методе GHT по сравнению с ТАФ. Модель фиксированных эффектов, $I^2 = 0$

Fig. 6. Forest plot demonstrating odds ratio for screw malposition in GHT compared to TAF. Random effect model, $I^2 = 0$

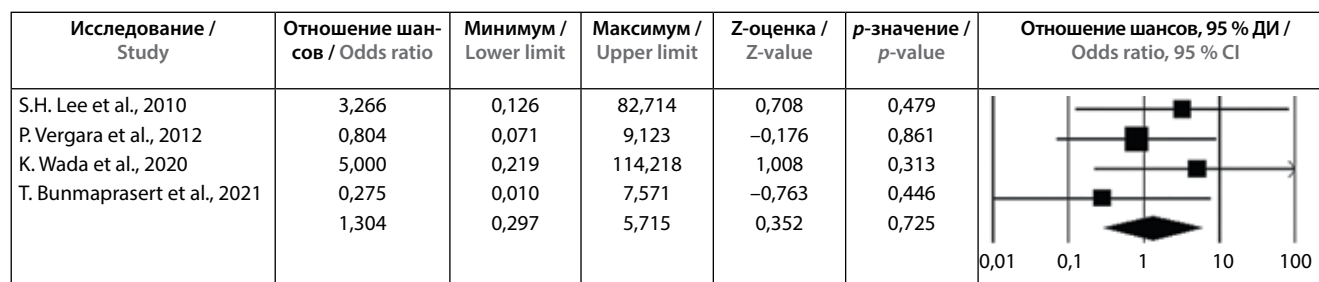


Рис. 7. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая отношение шансов послеоперационной радикулопатии C_2 при методе GHT по сравнению с ТАФ. Модель фиксированных эффектов, $I^2 = 0$

Fig. 7. Forest plot demonstrating odds ratio for postoperative radiculopathy in GHT compared to TAF. Random effect model, $I^2 = 0$

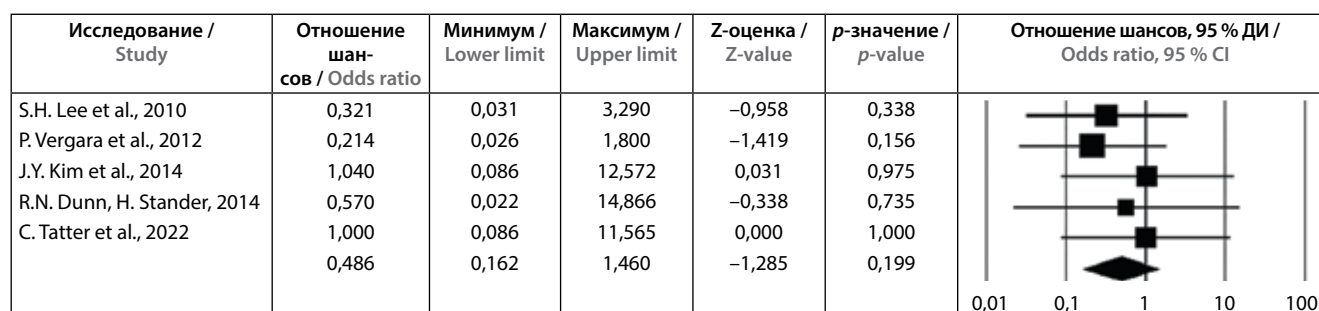


Рис. 8. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая отношение шансов развития несостоятельности фиксации при методе GHT по сравнению с ТАФ. Модель фиксированных эффектов, $I^2 = 0$

Fig. 8. Forest plot demonstrating odds ratio for fixation failure in GHT compared to TAF. Random effect model, $I^2 = 0$



Рис. 9. Диаграмма (forest plot), демонстрирующая отношение шансов формирования спондилодеза при методе ГНТ по сравнению с ТАФ. Модель фиксированных эффектов, $I^2 = 0$

Fig. 9. Forest plot demonstrating odds ratio for spinal fusion formation in GHT compared to TAF. Random effect model, $I^2 = 0$

является более популярным в силу ряда сложившихся факторов: 1) он интуитивно понятен любому вертебрологу-ортопеду благодаря визуальной аналогии с рутинной транспедикулярной фиксацией; 2) этот способ считается более безопасным и надежным по сравнению с методом F. Magerl. Такая позиция длительное время озвучивалась на отечественных и международных конференциях, однако была основана на опубликованных одним авторским коллективом метаанализах [5, 6]. Эти исследования имели существенные ограничения и недостатки. Авторы применяли одnogрупповой метаанализ частоты конкретных осложнений и исходов, подсчитывая их отдельно для ТАФ в одних статьях, а для ГНТ — в других. Затем с помощью методов простой описательной статистики они сравнивали совокупную частоту встречаемости конкретного осложнения для ТАФ и ГНТ. Кроме того, авторы допустили методологические погрешности, в частности не провели оценку публикационного смещения, после устранения которого показатели частоты осложнений могли измениться. Конкретный пример такого существенного изменения исследуемых данных в результате устранения публикационного смещения методом “trim-and-fill” представлен в нашем последнем метаанализе [25].

В 2022 г. был опубликован сравнительный метаанализ эффективности ГНТ и ТАФ [7]. Авторы пришли к выводу о большей безопасности и эффективности метода ГНТ. Более того, авторский коллектив позиционирует свою работу как рекомендацию для остальных хирургов к выбору метода ГНТ в хирургии краниовертебрального перехода. Несмотря на более правильный методологический подход по сравнению с предыдущими работами, данная статья также имеет существенный недостаток, а именно — авторы охватили не весь пул литературы. В частности, при подсчете ОШ частоты повреждения ПА они использовали 4 работы, тогда как мы обнаружили 10 подходящих работ. Аналогичная ситуация сложилась при подсчете частоты спондилодеза (4 и 7 исследований соответственно) и всех прочих исследуемых параметров.

В нашем исследовании не были выявлены достоверные различия между ГНТ и ТАФ в продолжительности операции, интраоперационной кровопотере, частоте развития имплант-ассоциированных осложнений и спондилодеза. Следует отметить тенденцию к смещению результатов в сторону ГНТ для таких параметров, как ранение ПА и частота спондилодеза. Это смещение обусловлено в основном 1 работой — P. Vergara и соавт., которые продемонстрировали одну из самых больших в литературе выборок пациентов с повреждением ПА при ТАФ (13,2 %) [3]. Частота ранения ПА высокочувствительна к таким интраоперационным параметрам, как способ иммобилизации головы, метод визуализации, способ установки винта и т.д. [26]. К сожалению, P. Vergara и соавт. [3] не описывают технику операций в данной статье. Более того, на одном из рентгеновских снимков, отражающих несостоятельность фиксации при ТАФ, можно увидеть полнорезьбовые винты. Данные импланты являются достоверным фактором риска развития несращения C_1 – C_2 -позвонков [27], что, по-видимому, и обуславливает низкую частоту спондилодеза после ТАФ в работе P. Vergara и соавт.

Таким образом, в нашем исследовании мы наглядно продемонстрировали отсутствие достоверных различий в продолжительности операции, интраоперационной кровопотере, частоте развития имплант-ассоциированных осложнений и исходах между 2 наиболее популярными методами спондилодеза C_1 – C_2 -позвонков. С нашей точки зрения, метод ТАФ более привлекателен в силу более низкой стоимости имплантов (всего 2 винта) и широких возможностей для минимально инвазивного исполнения [28–31]. Метод ГНТ более предпочтителен при аномалии развития краниовертебрального перехода, а также при невозможности полного вправления атлантаоаксиальной дислокации. При этом полностью перкутанное выполнение ГНТ не представляется возможным в силу крайней близости точек введения винтов к ПА. На наш взгляд, каждый хирург, выполняющий стабилизирующее вмешательство на краниовертебральном уровне,

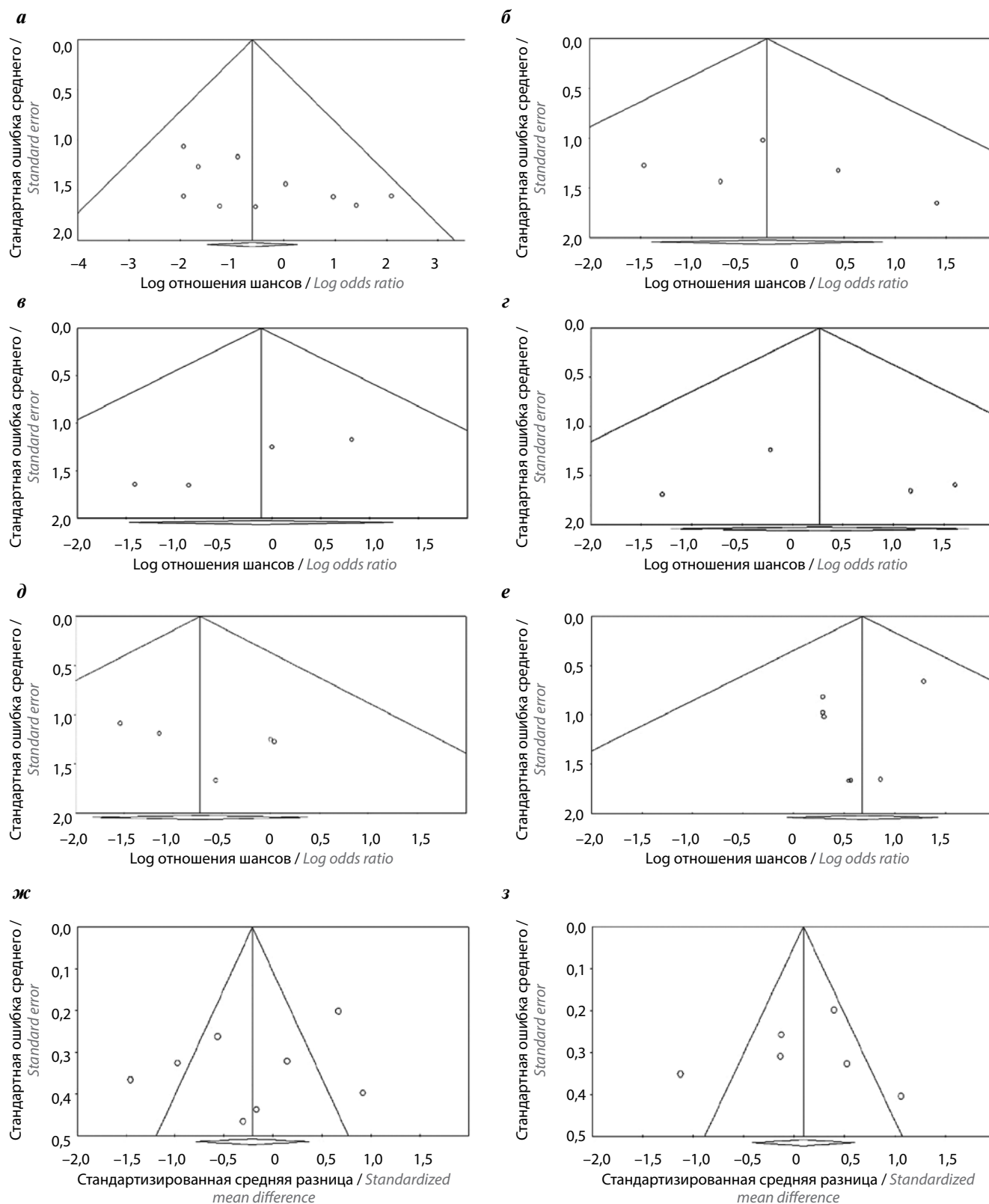


Рис. 10. Воронкообразные диаграммы включенных в метаанализ исследований для следующих параметров: а – ранение позвоночной артерии; б – мальпозиция винта в направлении позвоночной артерии; в – другие виды мальпозиций; г – послеоперационная радикулопатия C_2 ; д – несостоятельность фиксации; е – формирование спондилодеза; ж – продолжительность операции; з – интраоперационная кровопотеря

Fig. 10. Funnel plots of the studies included in the meta-analysis for the following parameters: а – vertebral artery injury; б – screw malposition in the direction of the vertebral artery; в – other types of malpositions; г – postoperative C_2 radiculopathy; д – fixation failure; е – spinal fusion formation; ж – operative time; з – intraoperative blood loss

должен владеть обоими методами спондилодеза C_1-C_2 , что позволит ему выбрать наименее инвазивный и, соответственно, оптимальный для пациента вариант хирургического вмешательства.

Существенным ограничением выполненного нами метаанализа является отсутствие в нем исследований с высоким уровнем доказательности. Наличие рандомизированных исследований позволило бы сформулировать конкретные рекомендации по выбору того или иного метода спондилодеза C_1-C_2 -позвонков с внесением корректировок в последующие редакции соответствующих рекомендательных протоколов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном метаанализе мы не обнаружили достоверных различий между методами Goel–Harms и F. Magerl как в показателях продолжительности операции и интраоперационной кровопотери, так и в частоте развития послеоперационных имплант-ассоциированных осложнений и спондилодеза C_1-C_2 -позвонков. Исследования с высоким уровнем доказательности должны быть проведены в будущем для формирования рекомендаций в отношении выбора оптимального метода стабилизации атлантоаксиального комплекса.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Magerl F., Seemann P.S. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In: *Cervical spine I*. Ed. by P. Kehr, A. Weldner. New York: Springer-Verlag, 1987. Pp. 322–327.
- Goel A., Laheri V.K. Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation. *Acta Neurochir (Wien)* 1994;129(1–2):47–53. DOI: 10.1007/BF01400872
- Vérgara P., Bal J.S., Hickman Casey A.T. et al. C_1-C_2 posterior fixation: are 4 screws better than 2? *Neurosurgery* 2012;71(1 Suppl Operative):86–95. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318243180a
- Chang K.C., Samartzis D., Fuego S.M. et al. The effect of excision of the posterior arch of C_1 on C_1/C_2 fusion using transarticular screws. *Bone Joint J* 2013;95-B(7):972–6. DOI: 10.1302/0301-620X.95B7.30598
- Elliott R.E., Tanweer O., Boah A. et al. Outcome comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs: meta-analysis and review of literature. *J Spinal Disord Tech* 2014;27(1):11–28. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318277da19
- Elliott R.E., Tanweer O., Boah A. et al. Comparison of screw malposition and vertebral artery injury of C_2 pedicle and transarticular screws: meta-analysis and review of the literature. *J Spinal Disord Tech* 2014;27(6):305–15. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31825d5daa
- Chang M.C., Seok H.G., Choo Y.J., Lee G.W. The comparison between transarticular screw fixation and segmental screw-rod fixation for posterior fusion of the $C1-2$ segment: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2022;164:e1007–14. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.05.086
- Moher D., Liberati A., Tetzlaff J. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med* 2009;6(7):e1000097. DOI: 10.1371/journal.pmed1000097
- Higgins J.P., Thompson S.G., Deeks J.J., Altman D.G. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 2003;327(7414):557–60. DOI: 10.1136/bmj.327.7414.557
- El Masry M.A., El Assuity W.I., Sadek F.Z., Salah H. Two methods of atlantoaxial stabilisation for atlantoaxial instability. *Acta Orthop Belg* 2007;73(6):741–6.
- Lee S.H., Kim E.S., Sung J.K. et al. Clinical and radiological comparison of treatment of atlantoaxial instability by posterior $C1-C2$ transarticular screw fixation or $C1$ lateral mass- $C2$ pedicle screw fixation. *J Clin Neurosci* 2010;17(7):886–92. DOI: 10.1016/j.jocn.2009.10.008
- Yoshida G., Kamiya M., Yoshihara H. et al. Subaxial sagittal alignment and adjacent-segment degeneration after atlantoaxial fixation performed using $C-1$ lateral mass and $C-2$ pedicle screws or transarticular screws. *J Neurosurg Spine* 2010;13(4):443–50. DOI: 10.3171/2010.4.SPINE09662
- Weng C., Tian W., Li Z.Y. et al. Surgical management of symptomatic os odontoideum with posterior screw fixation performed using the Magerl and Harms techniques with intraoperative 3-dimensional fluoroscopy-based navigation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37(21):1839–46. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182578fd8
- Kim J.Y., Oh C.H., Yoon S.H. et al. Comparison of outcomes after atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs. *J Korean Neurosurg Soc* 2014;55(5):255–60. DOI: 10.3340/jkns.2014.55.5.255
- Dunn R.N., Stander H. Atlanto-axial fusion: Magerl transarticular versus Harms instrumentation techniques. *SA Orthopaedic Journal* 2014;13(2):31–4.
- Oshima S., Sudo H., Ito M., Abumi K. Subaxial sagittal alignment after atlantoaxial fixation techniques. *J Spinal Disord Tech* 2015;28(1):E49–55. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000144
- Ni B., Zhao W., Guo Q. et al. Comparison of outcomes between $C1-C2$ screw-hook fixation and $C1-C2$ screw-rod fixation for treating reducible atlantoaxial dislocation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2017;42(20):1587–93. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002152
- Rajinda P., Towiwat S., Chirappapha P. Comparison of outcomes after atlantoaxial fusion with $C1$ lateral mass- $C2$ pedicle screws and $C1-C2$ transarticular screws. *Eur Spine J* 2017;26(4):1064–72. DOI: 10.1007/s00586-016-4829-1
- Ryu J.I., Bak K.H., Kim J.M., Chun H.J. Comparison of transarticular screw fixation and $C1$ lateral mass- $C2$ pedicle screw fixation in patients with rheumatoid arthritis with atlantoaxial instability. *World Neurosurg* 2017;99:179–85. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.12.028
- Velho V., Giri S.A. Management of atlanto-axial dislocation, a case based approach: an institutional experience. *Clin Surg* 2018;3:2274.
- Wada K., Tamaki R., Inoue T. et al. Comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and $C1$ lateral mass- $C2$ screws using intraoperative O-arm navigation. *World Neurosurg* 2020;141:e1005–e9. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.06.149
- Bunmaprasert T., Trirattanapikul V., Sugandhavesa N. et al. Reducible nonunited type II odontoid fracture with atlantoaxial instability: outcomes of two different fixation techniques. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(15):7990. DOI: 10.3390/ijerph18157990
- Kleinstück F.S., Fekete T.F., Loibl M. et al. Patient-rated outcome after atlantoaxial ($C1-C2$) fusion: more than a decade of evaluation of 2-year outcomes in 126 patients. *Eur Spine J* 2021;30(12):3620–30. DOI: 10.1007/s00586-021-06959-1
- Tatter C., Fletcher-Sandersjö A., Persson O. et al. Fluoroscopy-assisted $C1-C2$ posterior fixation for atlantoaxial instability: a single-center case series of 78 patients. *Medicina (Kaunas)* 2022;58(1):114. DOI: 10.3390/medicina58010114

25. Lvov I., Grin A., Talypov A. et al. Efficacy and safety of Goel–Harms technique in upper cervical spine surgery: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2022;167:e1169–e84. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.09.016
26. Lvov I., Grin A., Talypov A. et al. Potential intraoperative factors of screw-related complications following posterior transarticular C1–C2 fixation: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J* 2019;28(2):400–20. DOI: 10.1007/s00586-018-5830-7
27. Koepke L.G., Heuer A., Stangenberg M. et al. The limitations of fully threaded screws in isolated percutaneous transarticular screw fixation of C₁/C₂. *Sci Rep* 2022;12(1):6484. DOI: 10.1038/s41598-022-10447-x
28. Dimitriou J., Garvayo M., Coll J.B. Minimally invasive posterior percutaneous transarticular C₁–C₂ screws: how I do it. *Acta Neurochir (Wien)* 2020;162(9):2047–50. DOI: 10.1007/s00701-020-04478-4
29. Alhashash M., Shousha M., Gendy H. et al. Percutaneous posterior transarticular atlantoaxial fixation for the treatment of odontoid fractures in the elderly: a prospective study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018;43(11):761–6. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002417
30. Lvov I., Grin A., Godkov I. et al. Posterior percutaneous transarticular stand-alone screw instrumentation of C₁–C₂ with endoscopic assistance: a report of two cases. *Neurocirugia (Astur: Engl Ed)*. 2021;32(2):78–83. (In Engl., Spanish). DOI: 10.1016/j.neucir.2019.08.006
31. Lvov I., Grin A., Kordonskiy A. et al. Minimally invasive posterior transarticular stand-alone screw instrumentation of C₁–C₂ using a transmuscular approach: description of technique, results and comparison with posterior midline exposure. *World Neurosurg* 2019;128:e796–e805. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.04.259

Вклад авторов

А.А. Гринь, А.Э. Талыпов, А.Ю. Кордонский, З.А. Барбакадзе: разработка дизайна исследования, сбор данных для анализа, анализ полученных данных, в том числе статистический, написание текста статьи.

Authors' contributions

A.A. Grin, A.E. Talypov, A.Yu. Kordonskiy, Z.A. Barbakadze: research design development, data collection for analysis, analysis of the data obtained, including statistical analysis, article writing.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.А. Гринь / A.A. Grin: <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

А.Э. Талыпов / A.E. Talypov: <https://orcid.org/0000-0002-6789-8164>

А.Ю. Кордонский / A.Yu. Kordonskiy: <https://orcid.org/0000-0001-5344-3970>

З.А. Барбакадзе / Z.A. Barbakadze: <https://orcid.org/0000-0003-3835-4317>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.