DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-4-59-66

CC BY 4.0

ВОЗМОЖНОСТЬ БЕЗОПАСНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДНЕЙ ТРАНСАРТИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ ПОЗВОНКОВ С1–2: КТ-МОРФОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

И.С. Львов, А.А. Гринь, А.Э. Талыпов, С.Ю. Рощин, В.А. Шарифуллин, З.А. Барбакадзе, Е.Е. Алехин, А.В. Тупикин, Е.А. Сосновский, Р.А. Никогосян, Д.А. Талыпова, Н.Б. Жадова, О.А. Минькина, Д.В. Шмелёва, Л.Т. Хамидова

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3

Контакты: Иван Сергеевич Львов *dr.speleolog@gmail.com*

Введение. Трансартикулярная фиксация С1–2-позвонков по технике F. Magerl – один из наиболее надежных методов винтовой стабилизации С1–2-позвонков. Важным аспектом точной установки имплантов при трансартикулярной фиксации под рентгенологическим контролем служит правильный выбор стартовой и конечной точек траектории. При определенных значениях высоты и ширины истмической части С2-позвонка некоторые траектории установки винтов могут сопровождаться нулевой вероятностью мальпозиции винта с повреждением позвоночной артерии.

Цель исследования – изучить КТ-морфометрические характеристики С2-позвонка для оценки возможности выполнения безопасной трансартикулярной фиксации С1–2.

Материал и методы. Проведен анализ данных 7672 пациентов с компьютерной томографией шейного отдела позвоночника, поступивших с подозрением на травму в НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского в период с 01.01.2019 по 31.07.2019. В исследовании принимали участие 6 нейрохирургов и 6 врачей отделения рентгендиагностики. Измерения проходили в 2 этапа. Каждый параметр (высота перешейка – IsthH, ширина перешейка – IsthW, высота боковой массы – LmH) измерялся 2 раза. В случае высокой интраклассовой корреляции вычисляли среднее значение измерений, которое включали в финальный анализ.

Результаты. Коэффициент интраклассовой корреляции для всех измерений приближался к отличным значениям корреляции и составил 0,852 (95 % ДИ 0,844–0,860). Морфометрические характеристики подсчитаны на основании данных 795 пациентов. Значение IsthH составило 7,45 ± 1,66, IsthW – 8,56 ± 1,48, LmH – 5,56 ± 1,84 мм. У мужчин достоверно чаще возможно было выполнение трансартикулярной фиксации без ранения позвоночной артерии (в 66,1 % случаев; χ^2-тест, p <0,000001), тогда как у женщин – только в 29,9 % случаев.

Заключение. Полученные результаты позволяют утверждать, что перкутанная билатеральная трансартикулярная фиксация с применением в качестве ориентиров задней спиноламинарной точки и середины бугорка передней дужки атланта потенциально служит методом выбора у 88,3 % пациентов. Из всех больных с нормальной анатомией перешейка С2-позвонка у мужчин вероятность выполнения трансартикулярной фиксации без повреждения позвоночной артерии в 2 раза выше, чем у женщин, и превышает 66 %. Однако риск ранения данного сосуда у прочих пациентов не превышает 2,3 %, что сопоставимо с другими методами винтовой стабилизации С1–2-позвонков.

Ключевые слова: перешеек С2-позвонка, морфометрическое исследование, стабилизация позвонков С1–2

Для цитирования: Львов И.С., Гринь А.А., Талыпов А.Э. и др. Возможность безопасного выполнения задней трансартикулярной фиксации позвонков С1–2: КТ-морфометрическое исследование. Нейрохирургия 2022;24(4):59–66. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-4-59-66

Feasibility of safe posterior C1–2 transarticular screw fixation: CT morphometric study

I.S. Lvov, A.A. Grin, A.E. Talypov, S.Yu. Roshchin, V.A. Sharifullin, Z.A. Barbakadze, E.E. Alekhin, A.V. Tupikin, E.A. Sosnovskiy, R.A. Nikogosyan, D.A. Talypova, N.B. Zhadova, O.A. Minkina, D.V. Shmeleva, L.T. Khamidova

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

Contacts: Ivan Sergeevich Lvov *dr.speleolog@gmail.com*

Background. C1–2 transarticular fixation according to the F. Magerl technique is one of the most reliable methods of C1–2 screw stabilization. An important aspect of the precise placement of implants during transarticular fixation under X-ray control is the use of correct selection of start- and end-points of the installation trajectory. At certain values of the height and width of C2 isthmus some screw installation trajectories may be accompanied by a zero probability of vertebral artery damage that might be due to the screw malposition.

Aim. To evaluate CT morphometric characteristics of the C2 vertebra to assess the possibility of safe C1–2 transarticular fixation.

Materials and methods. The analysis performed was based on the data obtained from 7672 patients having admitted with suspected injury to the N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine during the period from 01.01.2019 to 31.07.2019. The study involved 6 neurosurgeons and 6 medical doctors of the X-ray diagnostics department. The measurements were carried out in 2 stages. Each parameter (isthmus height – IsthH, isthmus width – IsthW, lateral mass height – LmH) was measured 2 times. In case of high intraclass correlation, the mean value of the measurements was calculated, which was included in the final analysis.

Results. The intraclass correlation coefficient for all measurements approached an excellent correlation values and was 0.852 (95 % CI 0.844–0.860). Morphometric characteristics were calculated basing on data from 795 patients. The IsthH value was 7.45 ± 1.66, IsthW – 8.56 ± 1.48, LmH – 5.56 ± 1.84 mm. In men, the transarticular fixation was significantly more likely to be performed without injury of the vertebral artery (in 66.1 % of cases; χ^2-test, p <0.000001), whereas in women – only in 29.9 % of cases.

Conclusions. The results obtained suggest that percutaneous bilateral transarticular fixation with the use of posterior spinolaminar point and middle of the atlas anterior arch as landmarks potentially serves as a method of choice in 88.3 % of patients. Of all patients with normal anatomy of C2 isthmus, men are twice more likely to undergo transarticular fixation without damage of vertebral artery than women, the probability exceeds 66 %. However, the risk of injury of this blood vessel in other patients does not exceed 2.3 %, which is comparable with outcomes of other methods of C1–2 screw stabilization.

Keywords: C2 isthmus, morphometric study, C1–2 fusion

For citation: Lvov I.S., Grin A.A., Talypov A.E. et al. Feasibility of safe posterior C1–2 transarticular screw fixation: CT morphometric study. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2022;24(4):59–66. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-4-59-66

ВВЕДЕНИЕ

Трансартикулярная фиксация (ТАФ) С1–2-позвонков по технике F. Magerl и P.S. Seemann служит надежным методом винтовой стабилизации этих позвонков (рис. 1) [1]. Согласно последним опубликованным мета-анализам, данная методика сопоставима с методом Goel–Harms (A. Goel, J. Harms) по частоте формирования спондилодеза и имплант-ассоциированных осложнений [2, 3]. Также ТАФ высокочувствительна к таким аспектам операции, как жесткость иммобилизации головы во время установки винтов, тип имплантов, локализация мышечного тоннеля для заведения винтов и способ интраоперационной визуализации. Мета-анализ [2] продемонстрировал, что точность установки винтов под бипланарным флюороскопическим контролем идентична таковой при использовании нейронавигации. Наиболее важный аспект точной установки имплантов при ТАФ под рентгенологическим контролем – правильный выбор стартовой и конечной точек траектории. Симуляционное исследование [4] продемонстрировало, что при определенных значениях высоты и ширины истмической части С2-позвонка некоторые траектории установки винтов (рис. 2) могут сопровождаться нулевой вероятностью мальпозиции винта с повреждением позвоночной артерии (ПА). Возможность минимально инвазивного

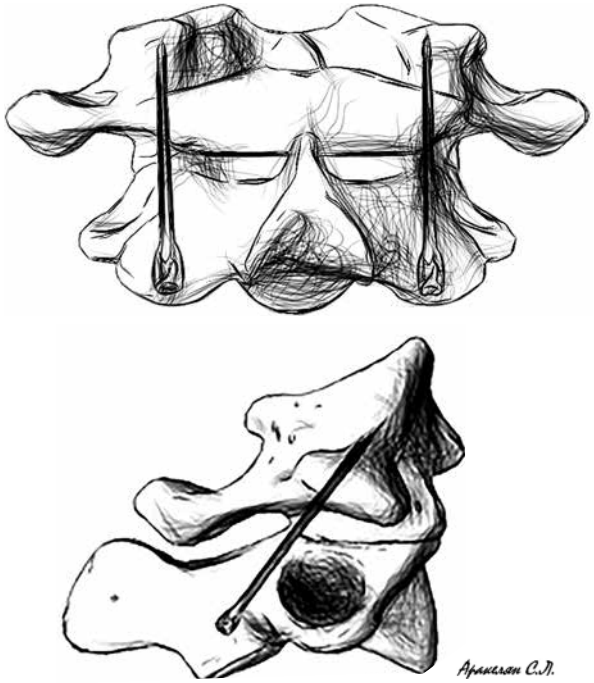

Рис. 1. *Схематическое изображение выполнения задней трансартикулярной фиксации позвонков С1–2 (рис. выполнен нейрохирургом С.Л. Аракеляном)*

Fig. 1. *Scheme of C1–2 posterior transarticular fixation (Fig. made by neurosurgeon S.L. Arakelyan)*

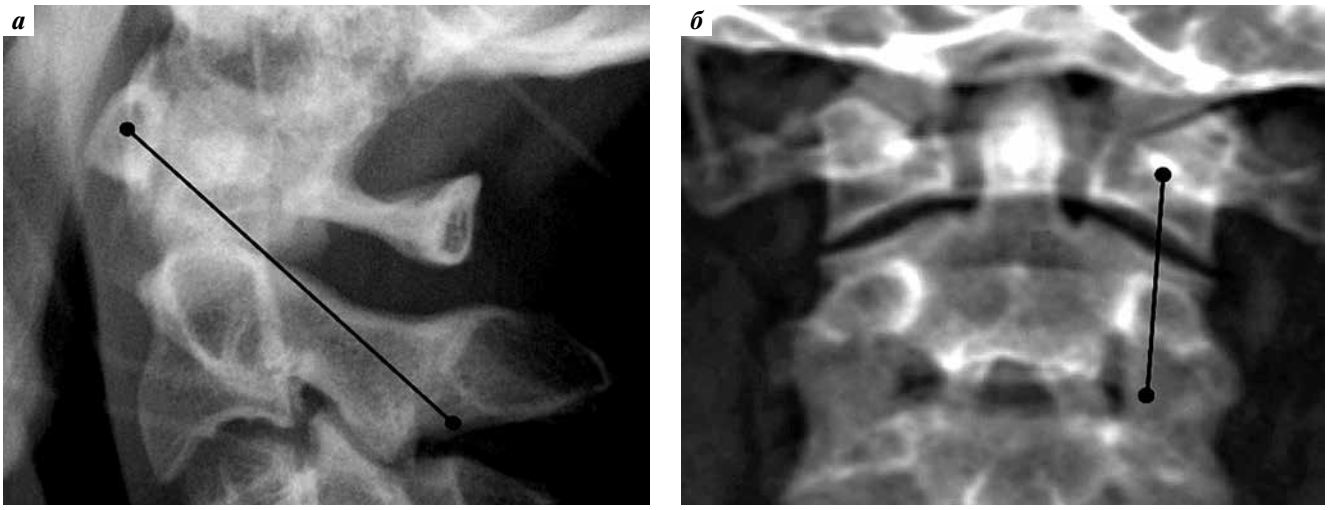

Рис. 2. *Рентгенограммы в боковой (а) и прямой (б) проекциях, демонстрирующие наиболее безопасную траекторию трансартикулярной фиксации*
Fig. 2. *Roentgenograms in lateral (a) and straight (б) projections demonstrating the safest trajectory of transarticular fixation*

выполнения ТАФ наряду с ее безопасностью делает данную методику предпочтительной у некоторых пациентов при проведении хирургического вмешательства на С1–2-позвонках.

Цель исследования – изучить КТ-морфометрические характеристики С2-позвонка для оценки возможности выполнения безопасной фиксации С1–2.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Данная работа – ретроспективное морфометрическое одноцентровое исследование. Объектом стали данные компьютерной томографии (КТ) шейного отдела позвоночника. Поскольку мы использовали полностью обезличенные данные, согласие пациентов на участие в исследовании не требовалось. Проведена непрерывная выборка пациентов, поступивших в стационар за период с 01.01.2019 по 31.07.2019. Критерии включения в исследование:

- поступление пациента в экстренном порядке с подозрением на травму;
- выполнение КТ шейного отдела позвоночника с толщиной срезов 0,5 мм.

Критерии исключения:

- возраст больного менее 15 лет;
- аномалия развития краниовертебрального уровня;
- перелом С2-позвонка;
- выполненное вмешательство на С1–2-позвонках;
- металлические артефакты в краниовертебральной области.

Исследователи

В морфометрическом исследовании принимали участие 6 нейрохирургов и 6 врачей отделения рентгендиагностики. Перед началом работы был проведен брифинг с показательным измерением требуемых параметров у нескольких пациентов, которые не участвовали в исследовании. Также всем участникам были предоставлены методические рекомендации по измерению исследуемых параметров.

Измерения

Измерения проводили в программе RadiAnt DICOM Viewer 2021.2.2 (Medixant, Республика Польша). В режиме мультипланарной реконструкции MPR измеряли высоту истмической части С2-позвонка (IsthH), ее ширину (IsthW) и высоту боковой массы С2 в области борозды ПА (IntH) (рис. 3).

В соответствии с классификацией M.H. Nogueira-Barbosa и H.L. Defino [5] выделяют 4 типа перешейка С2-позвонка (рис. 4). Тип I соответствует норме. Тип IIa сопровождается снижением значений IsthH и IsthW – менее 5 мм. При типе IIb отмечается уменьшение LmH – ниже 2,5 мм. Тип IIc сопровождается снижением всех 3 параметров.

Предыдущее наше исследование [4] показало, что наиболее безопасна траектория установки винта из задней спиноламинарной точки по направлению к середине бугорка передней дужки атланта (см. рис. 2). При такой установке винта диаметром 4 мм повреждения ПА не зарегистрировано при IsthH более 6,6 мм и IsthW более 7,6 мм [4]. Риск повреждения ПА составил 2,3 % у пациентов с IsthH 5,0–6,59 мм и IsthW 5,0–7,59 мм.

Все пациенты в равной степени были распределены между исследователями. Измерения проводили в 2 этапа. После первого этапа проведен случайный обмен пациентов между исследователями с повторным измерением. Таким образом, каждый пациент был осмотрен дважды разными специалистами. В случае высокого показателя коэффициента интраклассовой корреляции (ICC) между ответами экспертов для 2 измерений

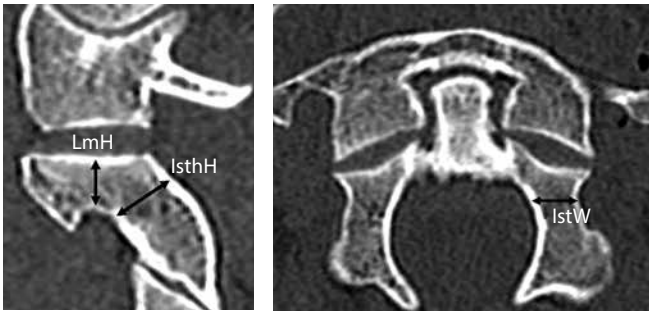

Рис. 3. *Морфометрические показатели С2-позвонка: LmH – высота боковой массы; IsthH – высота перешейка; IstW – ширина перешейка*

Fig. 3. *C2 morphometric parameters: LmH – height of lateral mass; IsthH – height of isthmus; IstW – width of isthmus*

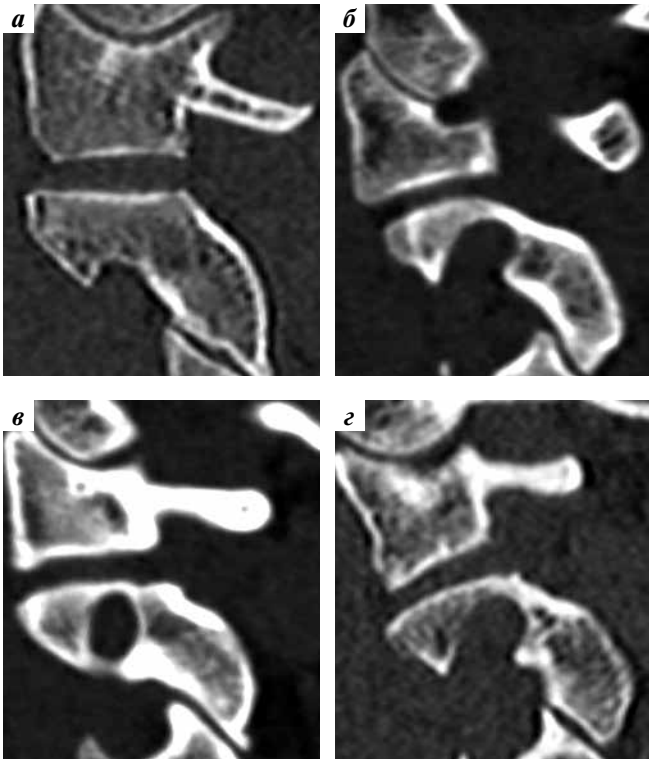

Рис. 4. *Варианты прохождения позвоночной артерии в перешейке С2-позвонка (M.H. Nogueira-Barbosa и H.L. Defino [5]), типы: а – I; б – IIa; в – IIb; г – IIc*

Fig. 4. *Variants of vertebral artery passage in isthmus of C2 vertebra (M.H. Nogueira-Barbosa and H.L. Defino [5]), types: a – I; б – IIa; в – IIb; г – IIc*

1 параметра высчитывали среднее значение, которое учитывали в финальном анализе.

У ряда пациентов разница между значениями одного и того же параметра была большой (3 мм и более). Их отдельно изучал эксперт, и в случае выявления ошибок при проведении измерений эти данные в финальном анализе не участвовали. Если у одного и того же пациента в определении 2 и более параметров отмечались ошибки, он полностью исключался из дальнейшего анализа.

Статистический анализ

Полученные данные обработаны в программах Statistica 10.0 (StatSoft Inc., USA) и IBM SPSS Statistics 23.0.

Нормальность распределения данных определяли при помощи статистического теста Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk's W test). При сравнении рядов данных с нормальным распределением использовали коэффициент корреляции Пирсона (Pearson's *r*). В случае ненормального распределения рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена (Spearman's ρ).

Межгрупповые различия рассчитывались при помощи U-теста Манна–Уитни (Mann–Whitney U Test) и критерия Краскела–Уоллиса (Kruskal–Wallis Test). При сравнении параметров, измеренных в номинальной и порядковой шкалах, применяли хи-квадрат Пирсона (Pearson's χ^2 test). При значениях p <0,05 разница между группами была статистически достоверной.

Межэкспертное согласие оценивали при помощи коэффициента интраклассовой корреляции (ICC 2.1 – двусторонняя модель случайных эффектов, абсолютное согласие); результаты – в соответствии с системой Лэндиса–Коха (J.R. Landis, G.G. Koch) [6]. Корреляцию ответов считали низкой при значении менее 0,5, умеренной – 0,5–0,75, хорошей – 0,75–0,90, превосходной – выше 0,9.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Отбор пациентов

Всего за период с 01.01.2019 по 31.07.2019 в КТ-кабинете НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского выполнены исследования 7672 пациентов, поступивших в экстренном порядке. После применения критериев включения отобраны 853 больных для просмотра DICOM-архивов. Из них 24 пациента исключены из исследования в связи с аномалией краниовертебрального перехода или установленной металлоконструкцией в области С2-позвонка.

Результаты после завершения 2-го этапа исследования:

- ошибки измерений не выявлены – 683 пациента;
- экспертом найдена ошибка измерения в 1 из исследуемых параметров, данный параметр исключен из финального анализа – 112 больных;
- выявлены ошибки измерения 2 и более параметров, такие пациенты исключены из исследования – 34 пациента.

Таким образом, в финальный анализ морфометрических характеристик вошли данные 795 пациентов, а в классифицирование истмической части в соответствии с классификацией M.H. Nogueira-Barbosa и H.L. Defino – 683 больных.

Оценка межэкспертного согласия

Коэффициент интраклассовой корреляции ICC для измерений IsthH составил 0,786 (95 % ДИ 0,765–0,805), IsthW – 0,763 (95 % ДИ 0,738–0,786), для LmH – 0,790

Таблица 1. *Рассчитанные морфометрические показатели С2-позвонка: данные других авторов и собственные*
Table 1. *Calculated morphometric parameters of C2 vertebra: data from other authors and from our present study*

Параметр Parameter	S. Raut et al. [10]	M.H. Nogueira-Barbosa, H.L. Defino [5]	Данные, полученные в этом исследовании (И.С. Львов и соавт.) The data obtained in this study (I.S. Lvov et al.)
IsthH слева, мм IsthH on the left, mm	–	7,73 ± 1,75	7,40 ± 1,63
М M	6,00 ± 1,10	8,19 ± 1,71	7,85 ± 1,57
Ж F	5,77 ± 1,23	7,02 ± 1,58	6,55 ± 1,39
IsthH справа, мм IsthH on the right, mm	–	8,23 ± 1,72	7,51 ± 1,70
М M	5,90 ± 1,22	8,59 ± 1,66	7,91 ± 1,65
Ж F	6,11 ± 1,04	7,66 ± 1,70	6,77 ± 1,51
IsthW слева, мм IsthW on the left, mm	–	7,77 ± 1,33	8,68 ± 1,45
М M	5,95 ± 1,13	8,20 ± 1,03	9,08 ± 1,39
Ж F	5,70 ± 1,18	7,11 ± 1,47	7,94 ± 1,27
IsthW справа, мм IsthW on the right, mm	–	7,75 ± 1,23	8,43 ± 1,50
М M	5,78 ± 0,93	8,03 ± 1,10	8,83 ± 1,42
Ж F	5,84 ± 0,95	7,31 ± 1,31	7,71 ± 1,38
LmH слева, мм LmH on the left, mm	–	–	5,42 ± 1,79
LmH справа, мм LmH on the right, mm	–	–	5,70 ± 1,87

Примечание. *Морфометрические показатели С2-позвонка: IsthH – высота перешейка; IsthW – ширина перешейка; LmH – высота боковой массы.*
Note. *Morphometric parameters of C2 vertebra: IsthH – isthmus height; IsthW – isthmus width; LmH – lateral mass height.*

(95 % ДИ 0,770–0,808). Общая интраклассовая корреляция для всех измерений приближалась к отличной и составила 0,852 (95 % ДИ 0,844–0,860). С учетом высокой степени корреляции ответов между экспертами результаты всех 795 пациентов учтены в финальном анализе.

Анализ параметров С2-позвонка

Морфометрические характеристики подсчитаны на основании данных 795 пациентов. Из них 514 (64,7 %) – мужчины, 281 (35,3 %) – женщины. Средний возраст составил 42,9 (15–93) года.

Среднее значение IsthH в левых отделах С2-позвонка составило 7,40 ± 1,63 мм, в правых – 7,51 ± 1,70 мм. Общее значение IsthH для обеих сторон – 7,45 ± 1,66 мм (табл. 1).

Для IsthW среднее значение слева – 8,68 ± 1,45 мм, справа – 8,43 ± 1,50 мм. Общее значение IsthW для обеих сторон – 8,56 ± 1,48 мм.

Для С2-позвонка LmH слева в среднем составила 5,42 ± 1,79 мм, справа – 5,70 ± 1,87 мм. В целом LmH для обеих сторон – 5,56 ± 1,84 мм.

При проведении статистического анализа не выявлено корреляции возраста с IsthH ($r = 0{,}012$, $p > 0{,}05$) и LmH ($r = -0{,}05$, $p > 0{,}05$). Определена очень слабая отрицательная корреляция возраста с IsthW ($r = -0{,}08$, $p < 0{,}00001$). При анализе распределения по полу измеряемые параметры С2-позвонка у мужчин были достоверно больше, чем у женщин (тест Манна–Уитни, $p < 0{,}0001$) (рис. 5).

Результаты распределения пациентов в соответствии с классификацией M.H. Nogueira-Barbosa и H.L. Defino представлены в табл. 2. Выполнение ТАФ С1–2-позвонков противопоказано при типах IIa и IIc. Соответственно, проведение ТАФ с обеих сторон было возможным у 602 (88,3 %), только с одной стороны – у 59 (8,6 %) пациентов. Невозможно было выполнить ТАФ из-за анатомических особенностей С2-позвонка у 22 (3,2 %) больных. Взаимосвязи типа перешейка С2-позвонка и возраста не выявлены (тест Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}38$). У мужчин нормальная анатомия перешейка С2-позвонка, позволяющая выполнить ТАФ с обеих сторон, встречалась достоверно чаще, чем у женщин (χ^2 тест, $p < 0{,}00001$).

Таблица 2. *Распределение пациентов по сочетанию различных типов левого и правого перешейков С2-позвонка (в соответствии с классификацией M.H. Nogueira-Barbosa и H.L. Defino [5])*

Table 2. *Distribution of patients depending on different types of left and right C2 isthmus (according to classification by M.H. Nogueira-Barbosa and H.L. Defino [5])*

Левый перешеек С2, типы Left C2 isthmus, types	Правый перешеек С2, типы Right C2 isthmus, types				
	I	IIa	IIb	IIc	*Всего* *Total*
I	585	17	7	6	*615*
IIa	26	14	0	3	*43*
IIb	7	1	3	3	*14*
IIc	5	1	1	4	*11*
Всего *Total*	*623*	*33*	*11*	*16*	*683*

Из 585 пациентов с нормальной анатомией перешейка С2-позвонка можно было выполнить полностью безопасную ТАФ в 319 (54,5 %) наблюдениях с обеих сторон, в 153 (26,2 %) – только с одной стороны. У оставшихся 113 (19,3 %) пациентов риск повреждения ПА составил 2,3 %. Достоверной связи между возрастом и вероятностью проведения безопасной ТАФ не выявлено (тест Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}78$). У мужчин достоверно чаще возможно было выполнение ТАФ без ранения ПА (χ^2 тест, $p < 0{,}000001$). Так, у мужчин ее можно было выполнить с обеих сторон в 2 из 3 (66,1 %) наблюдений, тогда как у женщин – только в 29,9 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

Вопрос выбора метода стабилизации С1–2-позвонков при травматических повреждениях С1–2-позвонков до сих пор остается нерешенным. В определенных условиях ТАФ имеет существенные преимущества перед прочими методами стабилизации. Так, минимальное число устанавливаемых имплантов и отсутствие коннекторов позволяют выполнить различные варианты снижения инвазии вмешательства: применение межмышечных доступов [7], а также различные варианты перкутанного вмешательства [8, 9]. Выполнение подобных минимально инвазивных техник позволяет достоверно снизить объем кровопотери и времени пребывания пациента в наркозе в несколько раз. В настоящее время наиболее спорный и обсуждаемый аспект – безопасность выполнения ТАФ. Ее наиболее грозное осложнение – мальпозиция винта в направлении ПА. Симуляционное исследование [4] наглядно продемонстрировало возможность выполнения перкутанной техники с использованием исключительно рентгенологических ориентиров. При этом безопасность ТАФ при соблюдении определенной рентгенологической траектории может соответствовать или превосходить таковую при классических методах F. Magerl или Goel–Harms. Основная цель нашего исследования –

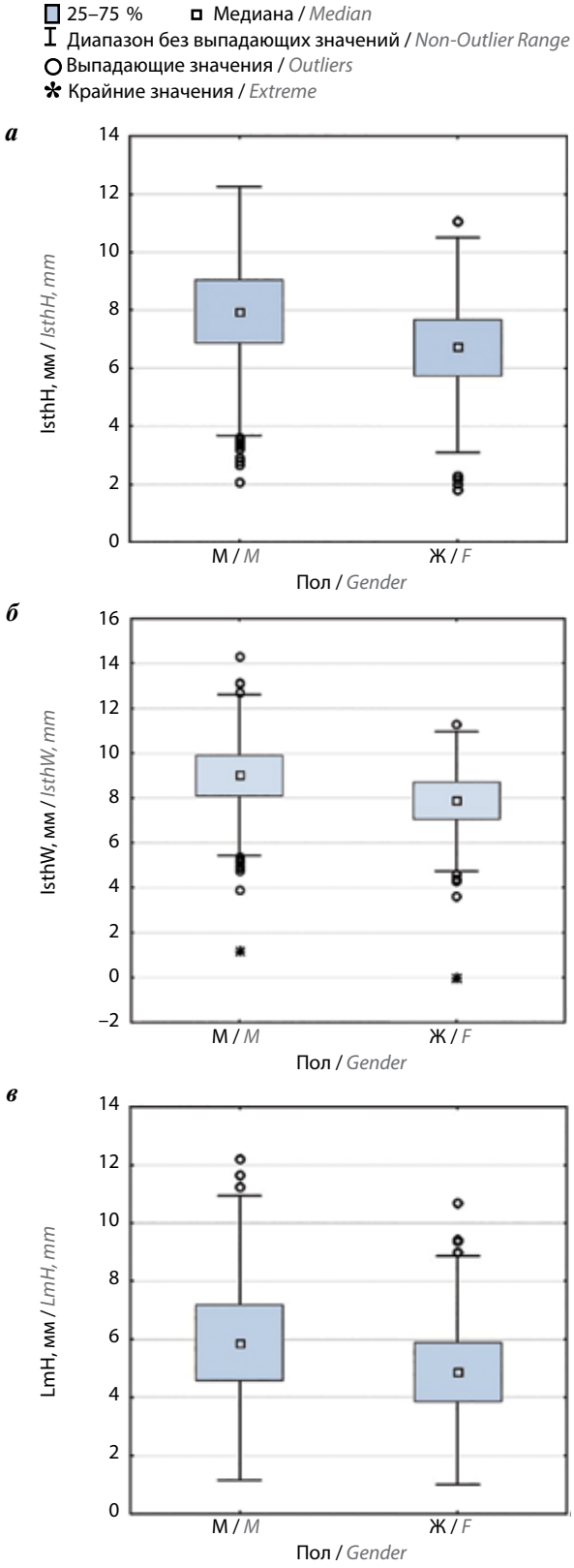

Рис. 5. *Размеры исследуемых морфометрических параметров С2-позвонка в зависимости от пола пациента: а – высота перешейка (IsthH); б – ширина перешейка (IstW); в – высота боковой массы (LmH)*

Fig. 5. *Dimensions of evaluated morphometric parameters of the C2 vertebra depending on the patient's gender: a – isthmus height (IsthH); б – isthmus width (IstW); в – lateral mass height (LmH)*

определить пул пациентов, которым возможно выполнение такой ТАФ.

Морфометрические исследования возможности выполнения фиксирующих вмешательств на краниовертебральном уровне на основании данных КТ-реформаций в литературе встречаются крайне редко. К настоящему моменту опубликовано лишь 2 подобных исследования анатомических особенностей перешейка С2-позвонка при выполнении ТАФ [5, 10]. Данные работы имеют существенные недостатки. Один из них – вероятность допущения систематической ошибки измерений. Все данные были получены на основании лишь одного измерения одного эксперта. В работе [5] авторы оценили воспроизводимость измерений одним и тем же автором с промежутком в 2 мес. В другом исследовании [10] аналогично использовали парный t-критерий Стьюдента. Тем не менее один и тот же эксперт может допускать систематическую ошибку измерения и повторять ее в любой временной промежуток. Для устранения ошибок и погрешностей каждое измерение каждого морфометрического параметра необходимо выполнять 2 раза разными экспертами [11]. При условии высокой степени корреляции ответов между разными экспертами среднее арифметическое будет приближаться к истинному значению морфометрического параметра. Кроме того, в одной работе [5] применены серии КТ с толщиной среза в 3 мм, что может давать также существенную погрешность морфометрического параметра при выполнении мультипланарных реконструкций MPR.

В нашем исследовании были устранены все возможные недостатки, которые могли бы повлиять на окончательный результат. Во-первых, сделана сплошная выборка из всех экстренных пациентов, не планировавших обращение в стационар заранее. Такие больные выполнили КТ не по причине какого-либо ортопедического или неврологического заболевания, и данный факт позволяет приблизить процент аномалий краниовертебрального перехода к реально встречающемуся в популяции. Во-вторых, каждый параметр был измерен дважды, а подсчет интраклассовой корреляции позволил выявить и устранить те измерения, которые могли содержать ошибки. Сравнив уже опубликованные данные [5, 10], отмечаем разницу в результатах. Эти различия могут быть обусловлены как вышеуказанными недостатками методологии, так и принадлежностью пациентов к разным макрорегионам. Так, в исследовании [5] были пациенты латиноамериканского региона, в другом [10] – жители азиатского, в нашем – преимущественно европейского.

В результате проведенного анализа выявлено, что ТАФ (билатеральная и монолатеральная) в целом возможна у большинства поступающих больных. Противопоказана данная процедура лишь 3,2 % от всех пациентов. Морфометрические параметры С2-позвонка у мужчин больше, чем у женщин. Параметры перешейка С2-позвонка позволяют выполнить ТАФ по исключительно рентгенологическим ориентирам полностью безопасно у 66 % мужчин и почти 30 % женщин, а с риском повреждения ПА в 2,3 % – у 34 % мужчин и 70 % женщин. Таким образом, на наш взгляд, при отсутствии прочих противопоказаний (неполное вправление атлантоаксиальной дислокации, необходимость создания костного сращения в междужковом промежутке С1–2 позвонков, анатомические особенности шеи и грудной клетки) с учетом выполнимости и безопасности ТАФ оправдывает себя как метод выбора у всех поступающих пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем исследовании впервые определены морфометрические параметры перешейка и боковой массы С2-позвонка с максимально сокращенным числом методологических ошибок и погрешностей. Полученные результаты позволяют утверждать, что перкутанная билатеральная ТАФ с применением в качестве ориентиров задней спиноламинарной точки и середины бугорка передней дужки атланта потенциально может быть методом выбора у 88,3 % пациентов. У 11,7 % больных оказалось невозможно выполнить ТАФ унилатерально или обеих сторон. Из всех пациентов с нормальной анатомией перешейка С2-позвонка у мужчин вероятность выполнения ТАФ без повреждения ПА в 2 раза выше, чем у женщин, и превышает 66 %. В то же время риск ранения ПА у прочих пациентов не превышает 2,3 %, что сопоставимо с таковым при других методах винтовой стабилизации С1–2-позвонков.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Magerl F., Seemann P.S. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In: Cervical spine I. Eds.: P. Kehr, A. Weidner. New York: Springer-Verlag, 1987. Pp. 322–7. DOI: 10.1007/978-3-7091-8882-8_59
2. Lvov I., Grin A., Talypov A. et al. Potential intraoperative factors of screw-related complications following posterior transarticular C1–2 fixation: a systematic review and meta-analysis. Eur Spine J 2019;28(2):400–20. DOI: 10.1007/s00586-018-5830-7
3. Elliott R.E., Tanweer O., Boah A. et al. Atlantoaxial fusion with transarticular screws: meta-analysis and review of the literature. World Neurosurg 2013;80(5):627–41. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.03.012
4. Lvov I., Grin A., Talypov A. et al. Fluoroscopic landmarks and trajectories for safe posterior percutaneous transarticular C1–C2 screw insertion: a CT-based simulation study. Eur Spine J 2021;30(6):1651–61. DOI: 10.1007/s00586-021-06744-0

5. Nogueira-Barbosa M.H., Defino H.L.A. Multiplanar reconstructions of helical computed tomography in planning of atlanto-axial transarticular fixation. Eur Spine J 2005;14(5):493–500. DOI: 10.1007/s00586-004-0838-6
6. Landis J.R., Koch G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977;33(1):159–74.
7. 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:e796–805. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.04.259
8. 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 Eng., In Span.). DOI: 10.1016/j.neucir.2019.08.006
9. 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.0000000000024177
10. Raut S., Kundnani V.G., Meena M.K. et al. Anthropometric evaluation for surgical feasibility of C1–C2 transarticular screw stabilization in Indian population. J Craniovertebr Junction Spine 2021;12(2):129–35. DOI: 10.4103/jcvjs.jcvjs_175_20
11. Maki S., Koda M., Iijima Y. et al. Medially-shifted rather than high-riding vertebral arteries preclude safe pedicle screw insertion. J Clin Neurosci 2016;29:169–72. DOI: 10.1016/j.jocn.2015.11.026

Вклад авторов
И.С. Львов: разработка дизайна исследования, анализ данных, написание статьи;
А.А. Гринь: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
А.Э. Талыпов: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
С.Ю. Рощин: обзор литературы, сбор и анализ данных;
В.А. Шарифуллин: сбор и анализ данных;
З.А. Барбакадзе: сбор и анализ данных;
Е.Е. Алехин: сбор и анализ данных;
А.В. Тупикин: сбор и анализ данных;
Е.А. Сосновский: сбор и анализ данных;
Р.А. Никогосян: сбор и анализ данных;
Д.А. Талыпова: сбор и анализ данных;
Н.Б. Жадова: сбор и анализ данных;
О.А. Минькина: сбор и анализ данных;
Д.В. Шмелёва: сбор и анализ данных;
Л.Т. Хамидова: научное редактирование статьи.

Authors' contributions
I.S. Lvov: research design of the study, data analysis, article writing;
A.A. Grin: research design of the study, scientific editing of the article;
A.E. Talypov: research design of the study, scientific editing of the article;
S.Yu. Roshchin: literature review, data collection and analysis;
V.A. Sharifullin: data collection and analysis;
Z.A. Barbakadze: data collection and analysis;
E.E. Alekhin: data collection and analysis;
A.V. Tupikin: data collection and analysis;
E.A. Sosnovskiy: data collection and analysis;
R.A. Nikogosyan: data collection and analysis;
D.A. Talypova: data collection and analysis;
N.B. Zhadova: data collection and analysis;
O.A. Minkina: data collection and analysis;
D.V. Shmeleva: data collection and analysis;
L.T. Khamidova: scientific editing of the article.

ORCID авторов/ ORCID of authors
И.С. Львов / I.S. Lvov: https://orcid.org/0000-0003-1718-0792
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
С.Ю. Рощин / S.Yu. Roshchin: https://orcid.org/0000-0002-9660-3214
В.А. Шарифуллин / V.A. Sharifullin: https://orcid.org/0000-0001-7483-7899
З.А. Барбакадзе / Z.A. Barbakadze: https://orcid.org/0000-0003-3835-4317
Е.Е. Алехин / E.E. Alekhin: https://orcid.org/0000-0002-0752-2720
Е.А. Сосновский / E.A. Sosnovskiy: https://orcid.org/0000-0002-4673-2712
Р.А. Никогосян / R.A. Nikogosyan: https://orcid.org/0000-0001-8442-6778
Д.А. Талыпова / D.A. Talypova: https://orcid.org/0000-0001-7188-450X
Л.Т. Хамидова / L.T. Khamidova: https://orcid.org/0000-0002-9669-9164

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.
Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Использовались полностью обезличенные данные, поэтому согласие пациентов на участие в исследовании не требовалось.
Compliance with patient rights and principles of bioethics. Completely depersonalized data was used, so patients' consent to participate in the study was not required.

Статья поступила: 06.08.2022. **Принята к публикации:** 07.09.2022.
Article submitted: 06.08.2022. **Accepted for publication:** 07.09.2022.