

ISSN 2077-8333 (print)  
ISSN 2311-4088 (online)

# ЭПИЛЕПСИЯ и пароксизмальные состояния

2025 Том 17 №1



EPILEPSY AND PAROXYSMAL CONDITIONS

2025 Vol. 17 №1

<https://epilepsia.su>

Данная интернет-версия статьи была скачана с сайта <https://www.epilepsia.su>. Не предназначено для использования в коммерческих целях.  
Информацию о репринтах можно получить в редакции. Тел.: +7 (495) 649-54-95; эл. почта: [info@irbis-1.ru](mailto:info@irbis-1.ru).



<https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2025.222>

ISSN 2077-8333 (print)

ISSN 2311-4088 (online)

# Фантомные боли: эпидемиология и этиопатогенез

Д.И. Корабельников<sup>1,2</sup>, Е.В. Ткаченко<sup>1,3</sup>, М.О. Магомедалиев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Московский медико-социальный институт им. Ф.П. Газа» (ул. 2-я Брестская, д. 5, Москва 123056, Российская Федерация)

<sup>2</sup> Федеральное государственное казенное учреждение «1586 Военный клинический госпиталь» Министерства обороны Российской Федерации (ул. Маштакова, д. 4, Подольск 142110, Российская Федерация)

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации (Госпитальная пл., д. 3, Москва 105094, Российская Федерация)

Для контактов: Даниил Иванович Корабельников, e-mail: [dkorabelnikov@mail.ru](mailto:dkorabelnikov@mail.ru)

## РЕЗЮМЕ

Фантомная боль (ФБ) представляет собой патологическое болевое ощущение, возникающее у человека в отношении части тела, которая была утрачена в результате ампутации или даже изначально отсутствовала. ФБ возникает после ампутации как верхних, так и нижних конечностей и может значительно ухудшать качество жизни пациента. Хотя описания ФБ встречаются с XVI века, точные причины и патогенез этого явления до сих пор не установлены. Некоторые факторы, такие как место ампутации и наличие боли перед операцией, связаны с развитием ФБ. Продолжаются дискуссии о роли центральной и периферической нервных систем в возникновении ФБ, а также обсуждается связь последних с реорганизацией нейронной сети. В обзоре рассматриваются эпидемиология, а также различные теории патогенеза ФБ. Выполнен анализ источников, включенных в наукометрические базы PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase и eLibrary.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

фантомная конечность, фантомная боль, фантомно-болевым синдром, этиология, патогенез

## Для цитирования

Корабельников Д.И., Ткаченко Е.В., Магомедалиев М.О. Фантомные боли: эпидемиология и этиопатогенез. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2025; 17 (1): 82–93. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2025.222>.

## Phantom pain: epidemiology and etiopathogenesis

D.I. Korabelnikov<sup>1,2</sup>, E.V. Tkachenko<sup>1,3</sup>, M.O. Magomedaliyev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Haass Medical Social Institute (5 2<sup>nd</sup> Brestskaya Str., Moscow 123056, Russian Federation)

<sup>2</sup> 1586 Military Clinical Hospital (4 Mashtakov Str., Podolsk 142110, Russian Federation)

<sup>3</sup> Burdenko Main Military Clinical Hospital (3 Gospitalnaya Sq., Moscow 105094, Russian Federation)

**Corresponding author:** Daniil I. Korabelnikov, e-mail: [dkorabelnikov@mail.ru](mailto:dkorabelnikov@mail.ru)

## ABSTRACT

Phantom pain (PP) represents a pathological pain sensation that emerges in a person regarding a body part lost due to amputation or even naturally absent. PP occurs after amputation of both upper and lower limbs and can significantly impair patient's quality of life. Although PP descriptions have been reported since the 16<sup>th</sup> century, the precise underlying causes and pathogenesis remain obscure. Several factors, such as the site of amputation and the presence of pre-surgery pain, are associated with PP development. There are continued discussions regarding a role played by the central and peripheral nervous

systems in arising PP, so that a relation between the former and neural network rewiring remain debated. The current review assesses PP epidemiology, as well as various theories behind its pathogenesis. In this context, publications included in the scientometric databases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase, and eLibrary were analyzed.

### KEYWORDS

phantom limb, phantom pain, etiology, pathogenesis

### For citation

Korabelnikov D.I., Tkachenko E.V., Magomedaliev M.O. Phantom pain: epidemiology and etiopathogenesis. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2025; 17 (1): 82–93 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2025.222>.

## ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Потеря конечности, приводящая к инвалидизации, может привести к изменениям как центральной нервной системы (ЦНС), так и периферической нервной системы. После ампутации пациенты часто испытывают фантомные ощущения в отсутствующей конечности, которые субъективно воспринимаются ими как движение или боль, определяемая как «фантомная боль» [1–3]. У 98% больных возникают различные ощущения в утраченной части тела: они могут чувствовать тепло или холод, зуд, давление и даже определять положение фантомной конечности в пространстве. Как правило, эти ощущения появляются сразу после ампутации, но у некоторых людей они возникают лишь через несколько дней или недель после утраты конечности [2].

В большинстве случаев пережившие ампутацию испытывают фантомные боли (ФБ), которые ощущаются в виде пульсирующей, колющей боли, чувства удара током или даже судорог и болезненной неподвижности в том месте, где раньше была конечность [3]. ФБ – сложное и до сих пор не до конца изученное явление, возникающее после ампутации части тела. Несмотря на активные исследования в этой области, точные механизмы развития ФБ остаются неизвестными, а имеющиеся данные неоднозначны.

Классическая ФБ появляется после ампутации конечностей, однако может возникать и после потери других частей тела – молочной железы, языка, зубов, половых органов, глаз или внутренних органов (например, прямой кишки) [4].

Предполагают, что ФБ связаны с изменениями в нервной системе. Они могут включать как периферическую сенситизацию, которая возникает из-за повреждения тканей и приводит к повышению чувствительности нервных окончаний, так и центральную сенситизацию – процесс, происходящий в ЦНС и связанный с изменением активности нейронов. Также известно, что на формирование ФБ могут влиять психосоциальные факторы, такие как стресс, тревога, депрессия и другие психологические состояния. Последние усугубляют болевые ощущения и затрудняют лечение [5].

В Международной классификации болезней 10-го пересмотра ФБ указана в разделе «Болезни нервной системы (G00–G99)», подразделах «Поражения отдельных нервов, нервных корешков и сплетений (G50–G59)» –

«Поражения нервных корешков и сплетений (G54)»: G54.6 Синдром фантома конечности с болью (англ. Phantom limb syndrome with pain), G54.7 Синдром фантома конечности без боли (англ. Phantom limb syndrome without pain).

В отечественной литературе наряду с термином «фантомная боль» равнозначно используются термины «фантомно-болевой синдром» и «фантомный болевой синдром» (ФБС). Федерация анестезиологов и реаниматологов России определяет ФБС как длительно существующую боль и расстройства чувствительности, которые пациент испытывает после ампутации, ощущая присутствие удаленной части тела (чаще всего конечности). При этом обращается внимание на то, что ФБС в своем генезе носит смешанный характер и представлен болью двух типов: нейропатическая ФБ, сочетающаяся с разнообразными патологическими сенсорными симптомами и воспринимаемая пациентом как боль в несуществующей конечности, и обычная ноцицептивная (соматическая) боль в культе [6].

Сложные неврологические механизмы позволяют воспринимать различные стимулы и реагировать на них. В процессе возникновения боли задействованы разные структуры головного и спинного мозга, а между повреждением и моментом осознания болевых ощущений лежит сложный комплекс электрохимических процессов – ноцицепция (трандукция, трансмиссия, модуляция, перцепция). При ощущении боли (например, от укола или механического воздействия на кожу, слизистые оболочки, фасции, суставные сумки) активируются болевые рецепторы – механо- и хемоноцицепторы. Интенсивность боли зависит от силы, продолжительности и характера болевого раздражителя [7].

Информация о болевых ощущениях и температуре передается через боковые спиноталамические тракты в таламус. В частности, болевые сигналы от нижней конечности передаются от периферических рецепторов к псевдоуниполярным нейронам первой степени в ганглии задних корешков. Затем они перекрещиваются и поднимаются к нейронам третьей степени в таламусе. Эта сенсорная информация в итоге поступает в первичную сенсорную кору в постцентральной извилине теменной доли, где находится сенсорный гомункулус. Ампутация конечности может вносить изменения в эту сложную систему передачи информации и инициировать патофизиологические преобразования в нервной системе, формируя ФБС [8].

ФБ значительно ухудшает качество жизни людей с ампутированными конечностями. Частота возникновения ФБ после ампутации остается высокой, а сведения об эффективности их лечения противоречивы. Лучшее понимание патофизиологии и этиологии ФБ может привести к появлению новых эффективных методов лечения, которые позволят облегчить страдания пациентов и повысить качество их жизни.

С целью обобщения современных знаний о эпидемиологии и этиопатогенезе ФБ выполнен анализ литературных источников, посвященных их изучению и включенных в наукометрические базы PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase и eLibrary.

Первые описания и история интерпретации феномена ФБ были представлены в нашей предыдущей работе, посвященной историческому анализу исследований феномена фантомных конечностей и фантомов [9].

## ЭПИДЕМИОЛОГИЯ ФАНТОМНЫХ БОЛЕЙ / PHANTOM PAIN EPIDEMIOLOGY

Большинство пациентов, перенесших ампутацию, испытывают ФБ с разными проявлениями по степени выраженности, частоте и продолжительности боли. С течением времени ФБ может самостоятельно или после применения различных методов лечения полностью купироваться или видоизмениться до менее выраженной, однако нередко больные заявляют об отсутствии изменений интенсивности болевого синдрома.

До недавнего времени клиницисты не обращали внимания на высокую распространенность ФБ, а научные исследования патофизиологических механизмов формирования и значимости влияния ФБ на качество жизни начали выполняться сравнительно недавно. В доступной нам литературе эпидемиология ФБ различна. Мы предполагаем, что это зависит от характеристики пациентов, включенных в исследования (табл. 1) [10–44].

Указанные данные о распространенности ФБ среди ампутантов подчеркивают масштаб проблемы и необходимость разработки новых подходов к лечению и реабилитации таких пациентов. Увеличение количества лиц, перенесших ампутацию конечностей, может потребовать дополнительных ресурсов и усилий со стороны общества и системы здравоохранения для обеспечения их потребностей, включая разработку инновационных технологий протезирования, улучшение доступности медицинской помощи и психологическую поддержку в процессе лечения и реабилитации.

## ПРИЧИНЫ АМПУТАЦИИ КОНЕЧНОСТЕЙ / CAUSES OF LIMB AMPUTATION

В развитых западных странах около 75% всех случаев ампутации конечностей связаны с сахарным диабетом и заболеваниями периферических артерий. В развивающихся странах ампутации чаще всего проводятся из-за травм, инфекций и опухолей. Статистика, собранная на

**Таблица 1 (начало).** Распространенность фантомных болей (ФБ) у пациентов с ампутированными конечностями

**Table 1 (beginning).** Prevalence of phantom pain (PP) in patients with amputated limbs

№ / No.	Страна / Country	Авторы (год публикации) / Authors (year of publication)	Распространенность ФБ, % / PP prevalence, %	Показания к ампутации, n (%) / Indications for amputation, n (%)	Библиографическая ссылка / Reference
1	Южно-Африканская Республика / Republic of South Africa	K. Limakatso et al. (2024)	71,73	Осложнения диабета / Diabetes complications – 139 (60%) Ишемия конечностей / Limb ischemia – 68 (30%) Инфекция / Infection – 16 (7%) Травма / Injury – 5 (2%) Онкология / Oncology – 3 (1%)	[10]
2	Индия / India	K.P. Priyadharshan et al. (2021)	37,00	Не указано / Not specified	[11]
3	Германия / Germany	M.T. Schley et al. (2008)	44,60	Несчастные случаи (травма газонокосилкой или циркулярной пилой) / Accidents (lawn mower or circular saw injuries) – 64 (98,5%) Инфекции / Infections – 1 (1,5%)	[12]
4	Франция / France	A. Curelli et al. (2007)	79,00	Травма / Injury – 4 (16%) Другие причины / Other causes – 21 (84%)	[13]
5	Индия / India	A. Ahmed et al. (2017)	41,00	Не указано / Not specified	[14]
6	Иран / Iran	A. Rahimi et al. (2012)	66,70	Взрыв гранаты / Grenade explosion – 191 (56%) Врыв наземных мин / Land mine explosion – 111 (33%) Авиабомбы / Aerial bombs – 16 (4,7%) Другие причины / Other causes – 20 (6,3%)	[15]
7	Германия / Germany	R. Bekrater-Bodmann et al. (2015)	62,55	Не указано / Not specified	[16]

**Таблица 1 (продолжение).** Распространенность фантомных болей (ФБ) у пациентов с ампутированными конечностями

**Table 1 (continuation).** Prevalence of phantom pain (PP) in patients with amputated limbs

№ / No.	Страна / Country	Авторы (год публикации) / Authors (year of publication)	Распространенность ФБ, % / PP prevalence, %	Показания к ампутации, n (%) / Indications for amputation, n (%)	Библиографическая ссылка / Reference
8	Пакистан / Pakistan	S.B. Ayaz et al. (2015)	42,50	Взрывные травмы / Blast injuries (72,8%) Неизвестно / Unknown (27,2%)	[17]
9	Камбоджа / Cambodia	K.P.A. Byrne (2011)	69,00	Несчастные случаи на минах / Mine-related accidents – 18 (62,8%) Онкология / Oncology – 3 (10,3%) Дорожные происшествия / Traffic accidents – 3 (10,3%) Незаживающая язва / Non-healing ulcer – 1 (3,4%) Хроническая инфекция стопы / Chronic foot infection – 1 (3,4%) Ишемия нижней конечности / Lower limb ischemia – 1 (3,4%) Неразорвавшиеся боеприпасы / Unexploded ordnance – 1 (3,4%) Тяжелый ожог / Severe burns – 1 (3,4%)	[18]
10	Новая Зеландия / New Zealand		51,70	Аварии с участием мотоцикла / Motorcycle accidents – 8 (27,6%) Автомобильные аварии / Car accident – 8 (27,6%) Несчастный случай (работа/охота) // Accidents (occupation/hunt) – 6 (20,6%) Хроническая инфекция / Chronic infection – 3 (10,3%) Онкология / Oncology – 2 (6,9%) Ампутация нефункционирующей ноги / Amputation of non-functioning lower limb – 1 (3,4%) Взрыв мины / Mine explosion – 1 (3,4%)	
11	Великобритания / United Kingdom	R.L. Clark et al. (2013)	85,60	Осложнения диабета / Diabetes complications – 44 (50%) Не диабет / Non-diabetes – 44 (50%)	[19]
12	Великобритания / United Kingdom	D. Datta et al. (2004)	60,00	Травма / Injury – 62 (78,2%) Неизвестно / Unknown – 17 (21,8%)	[20]
13	Ирландия / Ireland	D.M. Desmond, M. MacLachlan (2010)	42,60	Боевые действия / Combat activity – 93 (67,4%) Военные учения / Military exercises – 17 (12,3%) Дорожное происшествие, другие травмы / Traffic accident, other injuries – 24 (17,4%) Другие причины / Other causes – 4 (2,9%)	[21]
14	Нидерланды / Netherlands	P.U. Dijkstra et al. (2002)	72,00	Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 127 (23,7%) Сахарный диабет / Diabetes mellitus – 90 (16,8%) Травма / Injury – 206 (38,4%) Онкология / Oncology – 48 (9,1%) Врожденная патология / Congenital defect – 37 (6,9%) Другие причины / Other causes – 23 (4,3%)	[22]
15	Соединенные Штаты Америки / United States of America	D.M. Ehde et al. (2000)	72,00	Травмы (включая военные) / Injuries (including combat-related) – 128 (53%) Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 48 (20%) Инфекция / Infection – 56 (23%) Гангрена / Gangrene – 51 (21%) Сахарный диабет / Diabetes mellitus – 32 (13%) Врожденная патология / Congenital defect – 5 (2%) Опухоль / Tumor – 12 (5%) Другие причины / Other causes – 46 (19%)	[23]
16	Соединенные Штаты Америки / United States of America	P.L. Ephraim et al. (2005)	79,90	Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 29 (2%) Сахарный диабет / Diabetes mellitus – 579 (37.65%) Онкология / Oncology – 351 (22.82%) Другие причины / Other causes – 579 (37.65%)	[24]

Таблица 1 (продолжение). Распространенность фантомных болей (ФБ) у пациентов с ампутированными конечностями

Table 1 (continuation). Prevalence of phantom pain (PP) in patients with amputated limbs

№ / No.	Страна / Country	Авторы (год публикации) / Authors (year of publication)	Распространенность ФБ, % / PP prevalence, %	Показания к ампутации, n (%) / Indications for amputation, n (%)	Библиографическая ссылка / Reference
17	Ирландия / Ireland	P. Gallagher et al. (2001)	69,20	Врожденная патология / Congenital defect (6,7%) Онкология / Oncology (23,1%) Травма / Injury (49%) Другие причины / Other causes (19,3%) Не указано / Not specified (1,9%)	[25]
18	Соединенные Штаты Америки / United States of America	M.A. Hanley et al. (2006)	72,00	Травма / Injury – 255 (56%) Другие причины / Other causes – 198 (44%)	[26]
19	Соединенные Штаты Америки / United States of America	M.A. Hanley et al. (2009)	79,00	Рана / Wounds – 69 (83%) Инфекция / Infection – 6 (8%) Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 3 (4%) Гангрена / Gangrene – 6 (8%) Врожденная патология / Congenital defect – 1 (1%) Другие причины / Other causes – 12 (16%)	[27]
20	Ирак / Iraq	A.H. Hnoosh (2014)	61,00	Не указано / Not specified	[28]
21	Великобритания / United Kingdom	A.D. Houghton et al. (1994)	78,00	Не указано / Not specified	[29]
22	Германия / Germany	U. Kern et al. (2012)	74,50	Несчастный случай / Accidents – 227 (42,2%) Артериальная окклюзионная болезнь / Arterial occlusive disease – 133 (24,7%) Опухоль / Tumor – 49 (9,1%) Сахарный диабет / Diabetes mellitus – 46 (8,6%) Военная травма / Military injury – 40 (7,5%) Инфекция / Infection – 34 (6,4%) Врожденная патология / Congenital defect – 8 (1,5%)	[30]
23	Германия / Germany	A.K. Ketz (2008)	77,00	Непосредственная боевая травма / Direct combat trauma – 12 (41%) Отсроченный результат боевой травмы / Delayed-onset post-combat trauma effect – 11 (38%) Причина, не связанная с боевыми действиями / Non-combat causes – 2 (7%) Множественные причины / Multiple causes – 4 (14%)	[31]
24	Нидерланды / Netherlands	C.M. Koopman et al. (2000)	51,00	Несчастный случай / Accidents – 56 (78%) Онкология / Oncology – 11 (15%) Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 2 (3%) Инфекция / Infection – 2 (3%) Паралич руки / Hand paralysis – 1 (1%)	[32]
25	Германия / Germany	W. Larbig et al. (2019)	75,00	Сосудистые заболевания на фоне сахарного диабета / Vascular diseases in diabetes mellitus – 11 (25%) Сосудистые заболевания без сахарного диабета / Vascular diseases without diabetes mellitus – 14 (32%) Некроз по разным причинам / Multiple-cause necrosis – 11 (25%) Онкология / Oncology – 4 (9,1%) Остеомиелит / Osteomyelitis – 5 (6,82%)	[33]
26	Соединенные Штаты Америки / United States of America	S.J. Morgan et al. (2017)	48,10	Не указано / Not specified	[34]
27	Япония / Japan	S. Noguchi et al. (2019)	50,00	Не указано / Not specified	[35]
28	Бразилия / Brazil	D. Probstner et al. (2010)	46,70	Онкология / Oncology – 50 (100%)	[36]

**Таблица 1 (окончание).** Распространенность фантомных болей (ФБ) у пациентов с ампутированными конечностями

**Table 1 (end).** Prevalence of phantom pain (PP) in patients with amputated limbs

№ / No.	Страна / Country	Авторы (год публикации) / Authors (year of publication)	Распространенность ФБ, % / PP prevalence, %	Показания к ампутации, n (%) / Indications for amputation, n (%)	Библиографическая ссылка / Reference
29	Великобритания / United Kingdom	M. Rafferty et al. (2015)	85,00	Не указано / Not specified	[37]
30	Польша / Poland	M. Razmus et al. (2017)	59,00	Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 13 (59,1%) Сахарный диабет / Diabetes mellitus – 4 (18,2%) Несчастный случай / Accidents – 4 (18,2%) Обморожение / Freezing injury – 1 (4,5%)	[38]
31	Соединенные Штаты Америки / United States of America	G.E. Reiber et al. (2010)	72,20	Боевая травма / Combat trauma – 100%	[39]
32			76,00	Боевая травма / Combat trauma – 100%	
33	Канада / Canada	E.M. Balk et al. (2019)	76,10	Не указано / Not specified	[40]
34	Великобритания / United Kingdom	C. Richardson et al. (2007)	78,80	Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 77 (100%)	[41]
35	Великобритания / United Kingdom	C. Richardson et al. (2015)	63,00	Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 89 (100%)	[42]
36	Великобритания / United Kingdom	S.W. Wartan et al. (1997)	62,00	Боевая травма / Combat trauma – 590 (100%)	[43]
37	Китай / China	Y. Yin et al. (2017)	29,00	Травма / Injury – 236 (60,5%) Сосудистые заболевания / Vascular diseases – 83 (21,1%) Онкология / Oncology – 72 (18,4%)	[44]

основе демографических данных, демонстрирует, что за последние десятилетия в Европе и во всем мире наблюдается снижение количества больших ампутаций при росте числа малых ампутаций (под большими ампутациями обычно понимают операции, при которых конечность отсекается проксимально или через голеностопный сустав, малые ампутации – это операции, проводимые дистальнее голеностопного сустава) [45].

В США, по предварительным оценкам, проживает примерно 2,309 млн человек с ампутированными конечностями. Из них около 91% – лица, потерявшие нижние конечности, 9,2% – верхние. По прогнозам, к 2060 г. число людей с потерей конечностей в США увеличится на 145%, что будет связано с ростом распространенности сосудистых заболеваний и диабета на 36% и 67% соответственно [46]. К середине столетия количество таких людей во всем мире может повыситься вдвое.

Основными причинами ампутации являются сахарный диабет, травмы, онкологические заболевания [47] и хронические облитерирующие заболевания артерий нижних конечностей [48]. Отличительной особенностью плановых ампутаций в условиях операционной является нанесение контролируемой хирургической травмы на фоне анестезии с плановой премедикацией и адекватным обезболиванием в раннем послеоперационном периоде.

Другой наиболее распространенной причиной потери конечностей является травматическая ампутация. Количество случаев травматических ампутаций во всем мире выросло с 370,25 млн в 1990 г. до 552,45 млн в 2019 г. Часто такие травмы получают пожилые люди [49]. Также известно, что в период ведения боевых действий или локальных конфликтов число травматических ампутаций значительно увеличивается [50].

Боевая травма может привести к обширному повреждению тканей и потере конечности. В период военных конфликтов растет количество лиц с травматической ампутацией конечностей с последующим развитием ФБС. Факторами, имеющими зарегистрированную связь с последним, являются наличие остаточных болей в культе, чувство присутствия утраченной конечности, а также дистальный характер ампутации в случае верхних конечностей. Кроме того, была выявлена связь с такими психологическими факторами, как депрессивные состояния, повышенная тревожность и симптомы посттравматического стрессового расстройства [50].

Нам представляется, что к этим предрасполагающим факторам риска развития постампутационного ФБС можно добавить травматический характер ампутации при минно-взрывных ранениях, специфику оказания помощи пострадавшим (недостаточное обезбоживание на этапах

медицинской эвакуации в боевых условиях, длительное наложение жгута на конечность, ухудшающее ее кровоснабжение), развитие гнойных осложнений и психологическое состояние раненых в момент получения травмы – они находятся в экстремальной стрессовой ситуации.

В условиях современных вооруженных конфликтов ампутации конечностей обуславливаются как боевыми (90,6%), так и небоевыми (9,4%) поражающими факторами. В 69,1% случаев ампутации выполняют ввиду возникновения одномоментных необратимых изменений в конечности, что приводит к значимому снижению качества жизни [51].

По результатам опроса ветеранов боевых действий США, 82% респондентов испытывают боль в отсутствующей конечности и отмечают, что боль настолько значительна, что влияет на работоспособность, процессы адаптации и социализации после ранения [52]. Во время военных действий в Ираке и Афганистане 1716 американских военнослужащих потеряли как минимум одну конечность [53].

### ЭТИОПАТОГЕНЕЗ ФАНТОМНЫХ БОЛЕЙ / PHANTOM PAIN ETIOPATHOGENESIS

ФБ имеют сложный и многообразный патогенез в зависимости от локализации, стадии развития патологического процесса, факторов риска, гендерных различий [54]. Факторы риска, связанные с развитием ФБ в конечностях после операции, можно разделить на две категории: немодифицируемые и модифицируемые. К немодифицируемым факторам относятся возраст, пол и расовая/этническая принадлежность. Модифицируемые факторы включают: отсутствие социальной и экономической поддержки, тяжесть хронических заболеваний (например, сахарного диабета), уровень боли перед операцией, отсутствие предоперационных консультаций, наличие психических расстройств (тревожности, депрессии или склонности к катастрофизации). В последнее время специалисты определили два основных предоперационных фактора риска развития ФБ: пожилой возраст и эффективность предыдущего лечения боли [55].

Анатомические повреждения, вызванные взрывом или проникающим ранением, могут нанести серьезный ущерб нервной системе [56] и стать причиной невропатической боли [57].

До сих пор точные механизмы возникновения ФБ полностью не изучены. Однако современные концепции описывают различные звенья патогенеза, начиная от периферической и центральной сенситизации и заканчивая ролью психосоциальных факторов.

Ниже представлены наиболее значимые теории возникновения ФБ.

### Теория периферических нервов / Theory of peripheral nerves

Согласно данной теории в основе механизма лежит перерезание периферических нервов во время ампутации, что вызывает массивное повреждение тканей

и нейронов, приводящее к нарушению нормальной картины афферентного нервного входа в спинной мозг. Затем следует процесс, называемый деафферентацией, и проксимальная часть перерезанного нерва прорастает, образуя невромы. В этих невромах происходит повышенное накопление молекул, усиливающих экспрессию натриевых каналов, что приводит к гипервозбудимости и спонтанным разрядам. Считается, что такая аномальная периферическая активность является потенциальным источником боли в культе, включая ФБ. Исследования, в которых сообщается об уменьшении ФБ с помощью препаратов, блокирующих натриевые каналы, дополнительно подтверждают эту теорию [58, 59].

J.W.D. de Lange et al. (2022 г.) на основании проведенного анализа литературы утверждают, что хирургическая техника ампутации конечностей должна обязательно соответствовать принципам профилактики невропатической боли, т.к. профилактика ФБС эффективнее лечения [60].

### Теория центральной сенситизации / Theory of central sensitization

В соответствии с этой теорией в основе патогенеза ФБ лежит центральная сенситизация (гипервозбудимость центральных сенсорных нейронов, феномен взвинчивания), и после ампутации в спинном и головном мозге происходит усиление реакции на болевые стимулы. Повышенная активность нейронов в спинном и головном мозге может приводить к устойчивым болевым ощущениям даже при отсутствии периферических сигналов. Эта гиперактивность может быть вызвана потерей ингибиторного контроля или усилением возбуждающих сигналов. В проксимальном отделе ампутированного периферического нерва аксональные отростки формируют связи с нейронами в рецептивном поле спинного мозга. Некоторые нейроны, отвечающие за передачу боли, прорастают в пластинку II заднего рога спинного мозга – область, участвующую в передаче ноцицептивных афферентных сигналов. Это приводит к повышению нейронной активности, расширению рецептивного поля нейронов и увеличению возбудимости других областей. Данный процесс называется центральной сенсбилизацией. В ходе его также усиливается активность NMDA-рецепторов<sup>1</sup>, которая обусловлена действием нейромедиаторов: вещества P, такикининов и нейрокининов в заднем роге спинного мозга [61, 62].

### Теория пластичности мозга / Theory of brain plasticity

Данная теория предполагает, что после ампутации происходит дезадаптивная реорганизация соматосенсорной коры мозга. Участки мозга, отвечающие за ампутированную конечность, начинают реагировать на сигналы от других частей тела. Эта кортикальная реор-

<sup>1</sup> NMDA (англ. N-methyl-D-aspartic acid) – N-метил-D-аспарагиновая кислота.

ганизация может вызвать иллюзорные ощущения в ампутированной конечности, которые интерпретируются как фантомная боль [63, 64].

Многочисленные исследования неоднократно продемонстрировали, что после ампутации верхней конечности происходит снижение активности в тех участках коры головного мозга, которые отвечают за ощущения и движения этой конечности в первой соматосенсорной и моторной областях. При этом активность соседних участков, отвечающих за рот и лицо, в данных областях коры возрастает [65].

С конца XX века в науке доминировала теория неадаптивной пластичности мозга, объясняющая развитие ФБС. Она основана на наблюдениях за обезьянами: если входная информация в область мозга, отвечающую за верхнюю конечность, теряется (например, после деафферентации руки), происходит перераспределение ресурсов мозга. Этот процесс называется пластичностью мозга или реорганизацией. Другими словами, участки мозга, отвечавшие за верхнюю конечность, теперь свободны и могут быть задействованы в управлении другими частями тела.

Логически можно предположить, что способность мозга перераспределять ресурсы между разными частями тела в ответ на изменения будет полезной, позволяя потерявшим конечность лучше адаптироваться к новой реальности. Примером адаптивной пластичности мозга являются пациенты, утратившие зрение в раннем возрасте. У таких людей зрительная кора начинает участвовать в других процессах, не связанных со зрением, например в восприятии и обработке языка. Однако в соответствии с теорией неадаптивной пластичности ФБС реорганизация в мозге у взрослых может быть, наоборот, вредна [66].

### Теория памяти боли / Theory of pain memory

Согласно этой теории ФБ считается результатом памяти о боли, существовавшей до ампутации. Нейронные сети, участвующие в формировании памяти боли, могут продолжать функционировать и после ампутации, вызывая хронические болевые ощущения. Эти сети включают спинной мозг, таламус и кору головного мозга.

J. Katz и R. Melzack, изучив в 1990 г. характер болевых ощущений у 68 пациентов, перенесших ампутацию конечности, сообщили, что соматосенсорные сигналы достаточной силы и длительности могут вызывать продолжительные изменения в центральных нейронных структурах. Вместе с когнитивно-оценочными воспоминаниями о боли, которая предшествовала ампутации, эти изменения структур мозга приводят к формированию единого восприятия прошлого болевого опыта, связанного с фантомной конечностью. Авторы обратили внимание на то, что соматосенсорные воспоминания в основном представляют собой копии болезненных ощущений, которые возникали из-за травм перед ампутацией, а также в периоперационном периоде. Сами пациенты описывали их как ощущения, схожие с болью, которую они испытывали в дооперационном периоде [67].

### Теория зеркальной боли / Theory of mirror pain

Теория предполагает, что боль в ампутированной конечности может быть связана с дисфункцией зеркальных нейронов. Зеркальные нейроны, которые активируются при наблюдении действий других людей, способны также играть роль в восприятии собственной боли. Дисфункция этих нейронов может приводить к ощущению боли в ампутированной конечности [68].

### Теория кортикальной перестройки / Theory of cortical restructuring

Согласно данной теории утрата конечности вызывает перестройку соматосенсорных карт в мозге (сенсомоторный гомункулус). После ампутации участки коры головного мозга, ранее ответственные за ампутированную конечность, начинают получать сигналы от соседних областей, что может привести к возникновению ФБ [69, 70].

### Теория нейроматрицы / Theory of neuromatrix

Данная теория объясняет возникновение ФБ конфликтом между моторными и сенсорными процессами в мозге. После ампутации мозг сохраняет представление об утраченной конечности, и отсутствие визуальной обратной связи усиливает этот конфликт, что приводит к боли.

Многие дети, которые родились без конечности, испытывают ощущение фантома отсутствующей части тела. Это позволяет предположить, что нейронная сеть, или нейроматрица, отвечающая за телесные ощущения, имеет генетически определенную основу, которая изменяется под влиянием сенсорного опыта [71].

Человеческое тело воспринимается через нейроматрицу как единое целое, обладающее различными характеристиками в разное время. Механизм, лежащий в основе нового опыта, также включается в единую систему, создавая паттерн нейросигнатуры. Концепция этого комплексного мозгового механизма лежит в основе теории нейроматрицы. Предполагается, что группа нейронов в нейроматрице генетически запрограммирована на выполнение определенной функции по созданию сигнатурного паттерна. Интегрированный паттерн нейросигнатур в конечном итоге приводит к осознанию и действию. Теория нейроматрицы подразумевает, что наш мозг создает внутренние модели нашего тела, которые включают не только анатомические структуры, но и ощущения от них. Эти модели формируются на основе сенсорного опыта и могут изменяться под его влиянием. В случае ампутации конечности они могут стать неполными или искаженными, что приводит к возникновению ФБ [72].

K.L. Collins et al. в 2018 г. оценивали способность мозга приспосабливаться к сенсорным стимулам, изучая пластичность нейроматрицы. Суть эксперимента заключалась в том, чтобы заставить здорового человека воспринимать резиновую руку как свою собственную. Эффект достигался путем скрывания собственной руки из виду, обычно под столом, при этом резиновая рука находилась перед испытуемым. Ассистенты одновременно поглаживали резиновую и настоящую руки, что заставляло последнего воспринимать резиновую руку как

свою собственную. Включенность резиновой руки в нейроматрицу исследователи проверяли путем нанесения по ней ударов молотком. Участники эксперимента реагировали на это с чувством испуга. Авторы пришли к выводу, что нейроматрица достаточно быстро адаптируется к новым сложившимся условиям и сильно подвержена влиянию визуальных наблюдений и соматосенсорных стимулов [73].

### Теория проприоцептивной памяти / Theory of proprioceptive memory

Данная теория предполагает, что мозг сохраняет память о положении утраченной конечности в пространстве. Эти воспоминания могут вызывать болезненные ощущения, особенно если они связаны с последним положением конечности перед ампутацией.

V.C. Anderson-Barnes et al. в 2009 г. выдвинули гипотезу о том, что в подсознании человека остаются воспоминания о положении конечности до ампутации. Память о боли, связанная с каждым положением конечности, может способствовать возникновению не только ФБ, но и ощущения неподвижности или «замороженности» конечности. Авторы указывают на возможное существование нейронной сети памяти, которая хранит информацию о боли и других ощущениях – как положительных, так и отрицательных, связанных с разными положениями конечности. Они предполагают, что эти воспоминания развились для защиты нашего организма от повторных травм [74].

### Субкортикальные теории / Subcortical theories

Эти теории определяют ведущую роль таламуса в развитии ФБ. Возможно, что в результате ампутации изменения затрагивают не только соматосенсорную и моторную кору. Вероятно, происходит реорганизация и подкорковых структур, например таламуса [75]. Согласно исследованиям после ампутации происходит перестройка в таламусе, которая может передавать новые сигналы в кору головного мозга, вызывая фантомные ощущения и боль [73].

K.D. Davis et al. в 1998 г. провели картирование таламуса у людей с ампутированными конечностями путем использования микроstimуляций и микроэлектродной записи. В результате выяснилось, что в таламусе людей после ампутации представление об утраченной конечности шире, чем у тех, чьи конечности не повреждены. Кроме того, стимуляция таламуса может вызывать у ампутантов фантомные ощущения и даже ФБ в отсутствующей конечности [76].

В исследовании 2006 г. S.G. Waxman и B.C. Hains рассматривают таламус как структуру, способную генерировать боль. Ученые выяснили, что после травмы спинного мозга таламические нейроны становятся более возбудимыми независимо от сигналов, поступающих от спинальных нейронов. Это позволяет предположить, что таламус может превратиться в автономный генератор болевых сигналов [77].

В ходе исследования на грызунах было установлено, что ампутация передних конечностей вызывает изменения в структуре как деафферентированной первичной соматосенсорной коры головного мозга, так и вентрального заднего ядра таламуса, при этом последний начинает передавать новый сигнал в деафферентированную кору [78].

### ОБЩИЕ РЕМАРКИ / GENERAL REMARKS

Представленные теории рассматривают различные механизмы развития ФБ и подчеркивают многофакторную природу этого сложного явления. В настоящее время ФБ признаются сложным неврологическим феноменом, требующим комплексного подхода к лечению.

ФБ также связывают с раздражающими факторами на периферии культи, наличием мелких невром пересеченных кожных нервов. Отмечено, что при сращении культи нерва с сосудами и костью ощущения боли приобретают особенно яркий и мучительный характер [1].

Исследование J.H. Davidson et al. показывает, что люди с ампутированными верхними конечностями значительно чаще страдают от постампуционной боли, которая бывает более частой, продолжительной и тяжелой по интенсивности, по сравнению с людьми с ампутированными нижними конечностями [79].

ФБ могут возникать у онкологических больных после ампутации конечности или удаления опухоли. Такие боли ощущаются в области, где находился удаленный орган или ткань. Несмотря на то что сам орган или ткань больше не существует, нервные окончания в этой зоне продолжают отправлять сигналы боли в мозг [80].

Развитие технологий в области биоинженерии и кибернетики открывает новые возможности для создания более эффективных протезов, способных уменьшить ФБ за счет улучшенной обратной связи с нервной системой пациента [81].

Необходимость дальнейших исследований ФБ обусловлена множеством нерешенных вопросов, касающихся как патогенеза, так и оптимальных методов их диагностики и лечения. Одной из ключевых задач является исследование механизмов центральной и периферической сенситизации, а также их взаимодействия.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Фантомные ощущения в конечностях – частое явление среди людей, перенесших ампутацию. Изучению этой проблемы в последние десятилетия посвящено множество исследовательских работ. Несмотря на то что с момента первого описания фантомной конечности французским военным хирургом Амбруазом Паре прошло почти 500 лет, точные механизмы этого феномена до сих пор полностью не раскрыты. Необходимы дополнительные исследования различных механизмов формирования ФБ, по результатам которых можно будет разработать эффективные и рациональные методы лечения, что позволит облегчить страдания больных.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ARTICLE INFORMATION
<p>Поступила: 11.12.2024                      В доработанном виде: 10.03.2025                      Принята к печати: 21.03.2025                      Опубликовано онлайн: 25.03.2025</p>	<p>Received: 11.12.2024                      Revision received: 10.03.2025                      Accepted: 21.03.2025                      Published online: 25.03.2025</p>
Вклад авторов	Authors' contribution
<p>Корабельников Д.И. – идея и дизайн, обзор публикаций, обсуждение формата статьи, написание текста, научное редактирование;                      Ткаченко Е. В. – обзор публикаций, написание текста;                      Магомедалиев М.О. – обзор публикаций, написание текста.                      Все авторы прочитали и утвердили окончательный вариант рукописи</p>	<p>Korabelnikov D.I. – idea and design, review of publications, discussion of the article format, text writing, scientific editing;                      Tkachenko E. V. – review of publications, text writing;                      Magomedaliev M.O. – review of publications, text writing.                      All authors have read and approved the final version of the manuscript</p>
Конфликт интересов	Conflict of interests
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interests</p>
Финансирование	Funding
<p>Авторы заявляют об отсутствии финансовой поддержки</p>	<p>The authors declare no funding</p>
Этические аспекты	Ethics declarations
<p>Неприменимо</p>	<p>Not applicable</p>
Комментарий издателя	Publisher's note
<p>Содержащиеся в этой публикации утверждения, мнения и данные были созданы ее авторами, а не издательством ИРБИС (ООО «ИРБИС»). Издательство снимает с себя ответственность за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или препаратов, упомянутых в публикации</p>	<p>The statements, opinions, and data contained in this publication were generated by the authors and not by IRBIS Publishing (IRBIS LLC). IRBIS LLC disclaims any responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred in the content</p>
Права и полномочия	Rights and permissions
<p>© 2025 Авторы; ООО «ИРБИС»                      Статья в открытом доступе по лицензии CC BY-NC-SA                      (<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/</a>)</p>	<p>© 2025 The Authors. Publishing services by IRBIS LLC                      This is an open access article undermCC BY-NC-SA license                      (<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/</a>)</p>

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Hanyu-Deutmeyer A.A., Cascella M., Varacallo M. Phantom limb pain. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan.
- Ramachandran V., Hirstein W. The perception of phantom limbs. The D.O. Hebb lecture. *Brain*. 1998; 121 (9): 1603–30. <https://doi.org/10.1093/brain/121.9.1603>.
- Schone H.R., Baker C.I., Katz J., et al. Making sense of phantom limb pain. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2022; 93 (8): 833–43. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2021-328428>.
- Arizona P., Yulianti E., Fithriyah I. Psychiatric approach in phantom erection postpenectomy patient. *Case Rep Psychiatry*. 2023; 2023: 4113455. <https://doi.org/10.1155/2023/4113455>.
- Limakatso K., Bedwell G.J., Madden V.J., Parker R. The prevalence and risk factors for phantom limb pain in people with amputations: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2020; 15 (10): e0240431. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240431>.
- Федеральные клинические рекомендации по предотвращению фантомного болевого синдрома при ампутации конечности. 2014. URL: <https://goo.su/Bmz0A> (дата обращения 26.11.2024). Federal clinical guidelines for the prevention of phantom pain syndrome in limb amputation. 2014. Available at: <https://goo.su/Bmz0A> (in Russ.) (accessed 26.11.2024).
- Раимкулов Б.Н., Раимкулова К.Б., Раимкулова Н.Б. и др. Общая характеристика боли. Механизм развития боли (обзор литературы). *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2016; 2: 324–7.  
Raimkulov B.N., Raimkulova K.B., Raimkulova N.B., et al. General characteristics of pain. Mechanism of pain development (literature review). *Bulletin of the Kazakh National Medical University*. 2016; 2: 324–7 (in Russ.).
- Kaur A., Guan Y. Phantom limb pain: a literature review. *Chin J Traumatol*. 2018; 21 (6): 366–8. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2018.04.006>.
- Корабельников Д.И., Ткаченко Е.В., Магомедалиев М.О. Фантомы и фантомные конечности: история описания феномена. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2024; 16 (4): 409–16. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2024.219>.
- Korabelnikov D.I., Tkachenko E.V., Magomedaliev M.O. Phantoms and phantom limbs: history of describing the phenomenon. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2024; 16 (4): 409–16 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2024.219>.
- Limakatso K., Ndhlovu F., Usenbo A., et al. The prevalence and risk factors for phantom limb pain: a cross-sectional survey. *BMC Neurol*. 2024; 24 (1): 57. <https://doi.org/10.1186/s12883-024-03547-w>.
- Priyadharshan K.P., Kumar N., Shanmugam D., et al. Quality of life in lower limb amputees: a cross-sectional study from a tertiary care center of South India. *Prosthet Orthot Int*. 2022; 46 (3): 246–51. <https://doi.org/10.1097/PXR.000000000000108>.
- Schley M.T., Wilms P., Toepfner S., et al. Painful and nonpainful phantom and stump sensations in acute traumatic amputees. *J Trauma*. 2008; 65 (4): 858–64. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31812eed9e>.
- Curelli A., Brouard M., Antoine P. Role of psychological factors in post-amputation phantom pain and phantom sensations. *Douleurs: Evaluation – Diagnostic – Traitement*. 2007; 8 (2): 65–72 (in French). [https://doi.org/10.1016/S1624-5687\(07\)88795-6](https://doi.org/10.1016/S1624-5687(07)88795-6).
- Ahmed A., Bhatnagar S., Mishra S., et al. Prevalence of phantom limb pain, stump pain, and phantom limb sensation among the amputated cancer patients in India: a prospective, observational study. *Indian J Palliat Care*. 2017; 23 (1): 24–35. <https://doi.org/10.4103/0973-1075.197944>.
- Rahimi A., Mousavi B., Soroush M., et al. Pain and health-related quality of life in war veterans with bilateral lower limb amputations. *Trauma Mon*. 2012; 17 (2): 282–6. <https://doi.org/10.5812/traumamon.5135>.
- Bekrater-Bodmann R., Schredl M., Diers M., et al. Post-amputation pain is associated with the recall of an impaired body representation in dreams – results from a nation-wide survey on limb amputees. *PLoS One*. 2015; 10 (3): e0119552. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119552>.
- Ayaz S.B., Ikram M., Matee S., et al. Frequency and the related socio-demographic and clinical factors of phantom limb pain in traumatic amputees presenting at a tertiary care rehabilitation setup: phantom

- limb pain in traumatic amputees. *Pakistan Armed Forces Med J.* 2015; 65 (6): 782–8.
18. Byrne K.P.A. Survey of phantom limb pain, phantom sensation and stump pain in Cambodian and New Zealand amputees. *Pain Med.* 2011; 12 (5): 794–8. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4637.2011.01105.x>.
  19. Clark R.L., Bowling F.L., Jepson F., Rajbhandari S. Phantom limb pain after amputation in diabetic patients does not differ from that after amputation in nondiabetic patients. *Pain.* 2013; 154 (5): 729–32. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2013.01.009>.
  20. Datta D., Selvarajah K., Davey N. Functional outcome of patients with proximal upper limb deficiency – acquired and congenital. *Clin Rehabil.* 2004; 18 (2): 172–7. <https://doi.org/10.1191/0269215504cr716oa>.
  21. Desmond D.M., MacLachlan M. Prevalence and characteristics of phantom limb pain and residual limb pain in the long term after upper limb amputation. *Int J Rehabil Res.* 2010; 33 (3): 279–82. <https://doi.org/10.1097/MRR.0b013e328336388d>.
  22. Dijkstra P.U., Geertzen J.H.B., Stewart R., van der Schans C.P. Phantom pain and risk factors: a multivariate analysis. *J Pain Symptom Manage.* 2002; 24 (6): 578–85. [https://doi.org/10.1016/S0885-3924\(02\)00538-9](https://doi.org/10.1016/S0885-3924(02)00538-9).
  23. Ehde D.M., Czerniecki J.M., Smith D.G., et al. Chronic phantom sensations, phantom pain, residual limb pain, and other regional pain after lower limb amputation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000; 81 (8): 1039–44. <https://doi.org/10.1053/apmr.2000.7583>.
  24. Ephraim P.L., Wegener S.T., MacKenzie E.J., et al. Phantom pain, residual limb pain, and back pain in amputees: results of a national survey. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86 (10): 1910–9. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.03.031>.
  25. Gallagher P., Allen D., MacLachlan M. Phantom limb pain and residual limb pain following lower limb amputation: a descriptive analysis. *Disabil Rehabil.* 2001; 23 (12): 522–30. <https://doi.org/10.1080/09638280010029859>.
  26. Hanley M.A., Ehde D.M., Campbell K.M., et al. Self-reported treatments used for lower-limb phantom pain: descriptive findings. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006; 87 (2): 270–7. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.04.025>.
  27. Hanley M.A., Ehde D.M., Jensen M., et al. Chronic pain associated with upper-limb loss. *Am J Phys Med Rehabil.* 2009; 88 (9): 742–51. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3181b306ec>.
  28. Hnoosh A.H. Phantom limb and pain after traumatic lower extremity amputation. *J Fac Med Bagdad.* 2014; 56 (1): 57–61. <https://doi.org/10.32007/jfacmedbagdad.561427>.
  29. Houghton A.D., Nicholls G., Houghton A.L., et al. Phantom pain: natural history and association with rehabilitation. *Ann R Coll Surg Engl.* 1994; 76 (1): 22–5.
  30. Kern U., Busch V., Müller R., et al. Phantom limb pain in daily practice – still a lot of work to do! *Pain Med.* 2012; 13 (12): 1611–26. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4637.2012.01494.x>.
  31. Ketz A.K. The experience of phantom limb pain in patients with combat-related traumatic amputations. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008; 89 (6): 1127–32. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.11.037>.
  32. Kooijman C.M., Dijkstra P.U., Geertzen J.H.B., et al. Phantom pain and phantom sensations in upper limb amputees: an epidemiological study. *Pain.* 2000; 87 (1): 33–41. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(00\)00264-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(00)00264-5).
  33. Larbig W., Andoh J., Huse E., et al. Pre- and postoperative predictors of phantom limb pain. *Neurosci Lett.* 2019; 702: 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.11.044>.
  34. Morgan S.J., Friedly J.L., Amtmann D., et al. Cross-sectional assessment of factors related to pain intensity and pain interference in lower limb prosthesis users. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017; 98 (1): 105–13. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.09.118>.
  35. Noguchi S., Saito J., Nakai K., et al. Factors affecting phantom limb pain in patients undergoing amputation: retrospective study. *J Anesth.* 2019; 33 (2): 216–20. <https://doi.org/10.1007/s00540-018-2599-0>.
  36. Probstner D., Thuler L.C., Ishikawa N.M., Alvarenga R.M. Phantom limb phenomena in cancer amputees: phantom limb phenomena in cancer amputees. *Pain Pract.* 2010; 10 (3): 249–56. <https://doi.org/10.1111/j.1533-2500.2009.00340.x>.
  37. Rafferty M., Bennett Britton T.M., Drew B.T., Phillip R.D. Cross-sectional study of alteration of phantom limb pain with visceral stimulation in military personnel with amputation. *J Rehabil Res Dev.* 2015; 52 (4): 441–8. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.04.0114>.
  38. Razmus M., Daniluk B., Markiewicz P. Phantom limb phenomenon as an example of body image distortion. *Curr Probl Psychiatry.* 2017; 18 (2): 153–9. <https://doi.org/10.1515/cpp-2017-0013>.
  39. Reiber G.E., McFarland L.V., Hubbard S., et al. Servicemembers and veterans with major traumatic limb loss from Vietnam war and OIF/OEF conflicts: survey methods, participants, and summary findings. *J Rehabil Res Dev.* 2010; 47 (4): 275–97. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2010.01.0009>.
  40. Balk E.M., Gazula A., Markozannes G., et al. Psychometric properties of functional, ambulatory, and quality of life instruments in lower limb amputees: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019; 100 (12): 2354–70. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.02.015>.
  41. Richardson C., Glenn S., Horgan M., Nurmikko T. A prospective study of factors associated with the presence of phantom limb pain six months after major lower limb amputation in patients with peripheral vascular disease. *J Pain.* 2007; 8 (10): 793–801. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2007.05.007>.
  42. Richardson C., Crawford K., Milnes K., et al. A clinical evaluation of postamputation phenomena including phantom limb pain after lower limb amputation in dysvascular patients. *Pain Manag Nurs.* 2015; 16 (4): 561–9. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2014.10.006>.
  43. Wartan S.W., Hamann W., Wedley J.R., McColl I. Phantom pain and sensation among British veteran amputees. *Br J Anaesth.* 1997; 78 (6): 652–9. <https://doi.org/10.1093/bja/78.6.652>.
  44. Yin Y., Zhang L., Xiao H., et al. The pre-amputation pain and the postoperative deafferentation are the risk factors of phantom limb pain: a clinical survey in a sample of Chinese population. *BMC Anesthesiol.* 2017; 17 (1): 69. <https://doi.org/10.1186/s12871-017-0359-6>.
  45. Eidmann A., Kamawal Y., Luedemann M., et al. Demographics and etiology for lower extremity amputations – experiences of an university orthopaedic center in Germany. *Medicina.* 2023; 59 (2): 200. <https://doi.org/10.3390/medicina59020200>.
  46. Rivera J.A., Churovich K., Anderson A.B., Potter B.K. Estimating recent US limb loss prevalence and updating future projections. *Arch Rehabil Res Clin Transl.* 2024; 6 (4): 100376. <https://doi.org/10.1016/j.arrct.2024.100376>.
  47. Ziegler-Graham K., MacKenzie E.J., Ephraim P.L., et al. Estimating the prevalence of limb loss in the United States: 2005 to 2050. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008; 89 (3): 422–9. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.11.005>.
  48. Bernatchez J., Mayo A., Kayssi A. The epidemiology of lower extremity amputations, strategies for amputation prevention, and the importance of patient-centered care. *Semin Vasc Surg.* 2021; 34 (1): 54–8. <https://doi.org/10.1053/j.semvascsurg.2021.02.011>.
  49. Yuan B., Hu D., Gu S., et al. The global burden of traumatic amputation in 204 countries and territories. *Front Public Health.* 2023; 11: 1258853. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1258853>.
  50. Kumar A., Soliman N., Gan Z., et al. A systematic review of the prevalence of postamputation and chronic neuropathic pain associated with combat injury in military personnel. *Pain.* 2024; 165 (4): 727–40. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000003094>.
  51. Цема Е.В., Беспаленко А.А., Динец А.В. и др. Изучение поражающих факторов современной войны, приводящих к потере конечности. *Новости хирургии.* 2018; 25 (3): 321–31.
  52. Tsema Ie.V., Bepalenko A.A., Dinets A.V., et al. Study of damaging factors of contemporary war, leading to the limb loss. *Novosti khirurgii.* 2018; 26 (3): 321–31 (in Russ.).
  52. Griffin S.C., Alphonso A.L., Tung M., et al. Characteristics of phantom limb pain in U.S. civilians and service members. *Scand J Pain.* 2022; 22 (1): 125–32. <https://doi.org/10.1515/sjpain-2021-0139>.
  53. Perry B.N., Moran C.W., Armiger R.S., et al. Initial clinical evaluation of the modular prosthetic limb. *Front Neurol.* 2018; 9: 153. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00153>.
  54. Hirsh A.T., Dillworth T.M., Ehde D.M., Jensen M.P. Sex differences in pain and psychological functioning in persons with limb loss. *J Pain.* 2010; 11 (1): 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2009.06.004>.
  55. Ishigami S., Boctor C. Epidemiology and risk factors for phantom limb pain. *Front Pain Res.* 2024; 5: 1425544. <https://doi.org/10.3389/fpain.2024.1425544>.

56. Eckhoff M.D., Craft M.R., Nicholson T.C., et al. Lower extremity combat sustained peripheral nerve injury in US military personnel. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2021; 9 (3): e3447. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000003447>.
57. Mercer S., Chavan S., Tong J.L., et al. The early detection and management of neuropathic pain following combat injury. *J R Army Med Corps*. 2009; 155 (2): 94–8. <https://doi.org/10.1136/jramc-155-02-03>.
58. Livingston K.E. The phantom limb syndrome. A discussion of the role of major peripheral nerve neuromas. *J Neurosurg*. 1945; 2 (3): 251–5. <https://doi.org/10.3171/jns.1945.2.3.0251>.
59. Issa C.J., Svientek S.R., Dehdashtian A., et al. Pathophysiological and neuroplastic changes in postamputation and neuropathic pain: review of the literature. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2022; 10 (9): e4549. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000004549>.
60. De Lange J.W.D., Hundepool C.A., Power D.M., et al. Prevention is better than cure: surgical methods for neuropathic pain prevention following amputation – a systematic review. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2022; 75 (3): 948–59. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2021.11.076>.
61. Baron R. Mechanisms of disease: neuropathic pain – a clinical perspective. *Nat Rev Neurol*. 2006; 2 (2): 95–106. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0113>.
62. Subedi B., Grossberg G.T. Phantom limb pain: mechanisms and treatment approaches. *Pain Res Treat*. 2011; 2011: 864605. <https://doi.org/10.1155/2011/864605>.
63. Flor H., Nikolajsen L., Staehelin Jensen T. Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity? *Nat Rev Neurosci*. 2006; 7 (11): 873–81. <https://doi.org/10.1038/nrn1991>.
64. Yanagisawa T., Fukuma R., Seymour B., et al. Induced sensorimotor brain plasticity controls pain in phantom limb patients. *Nat Commun*. 2016; 7 (1): 13209. <https://doi.org/10.1038/ncomms13209>.
65. Решетняк В.К., Кукушкин М.Л., Гурко Н.С. Патогенетические механизмы фантомно-болевого синдрома. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2015; 59 (4): 101–7. Reshetnyak V.K., Kukushkin M.L., Gurko N.C. Pathogenetic mechanisms of phantom-pain syndrome. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya / Pathological physiology and experimental therapy*. 2015; 59 (4): 101–7 (in Russ.).
66. Makin T.R. Phantom limb pain: thinking outside the (mirror) box. *Brain*. 2021; 144 (7): 1929–32. <https://doi.org/10.1093/brain/awab139>.
67. Katz J., Melzack R. Pain 'memories' in phantom limbs: review and clinical observations. *Pain*. 1990; 43 (3): 319–36. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(90\)90029-d](https://doi.org/10.1016/0304-3959(90)90029-d).
68. Ramachandran V.S., Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc Biol Sci*. 1996; 263 (1369): 377–86. <https://doi.org/10.1098/rspb.1996.0058>.
69. Makin T.R., Flor H. Brain (re)organisation following amputation: implications for phantom limb pain. *Neuroimage*. 2020; 218: 116943. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116943>.
70. Andoh J., Milde C., Diers M., et al. Assessment of cortical reorganization and preserved function in phantom limb pain: a methodological perspective. *Sci Rep*. 2020; 10 (1): 11504. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68206-9>.
71. Melzack R. Phantom limbs and the concept of a neuromatrix. *Trends Neurosci*. 1990; 13 (3): 88–92. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(90\)90179-e](https://doi.org/10.1016/0166-2236(90)90179-e).
72. Melzack R. Pain and the neuromatrix in the brain. *J Dent Educ*. 2001; 65 (12): 1378–82.
73. Collins K.L., Russell H.G., Schumacher P.J., et al. A review of current theories and treatments for phantom limb pain. *J Clin Invest*. 2018; 128 (6): 2168–76. <https://doi.org/10.1172/JCI94003>.
74. Anderson-Barnes V.C., McAuliffe C., Swanberg K.M., Tsao J.W. Phantom limb pain – a phenomenon of proprioceptive memory? *Med Hypotheses*. 2009; 73 (4): 555–8. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2009.05.038>.
75. Ergenzinger E.R., Glasier M.M., Hahn J.O., Pons T.P. Cortically induced thalamic plasticity in the primate somatosensory system. *Nat Neurosci*. 1998; 1 (3): 226–9. <https://doi.org/10.1038/673>.
76. Davis K.D., Kiss Z.H., Luo L., et al. Phantom sensations generated by thalamic microstimulation. *Nature*. 1998; 391 (6665): 385–7. <https://doi.org/10.1038/34905>.
77. Waxman S.G., Hains B.C. Fire and phantoms after spinal cord injury: Na<sup>+</sup> channels and central pain. *Trends Neurosci*. 2006; 29 (4): 207–15. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.02.003>.
78. Li C.X., Chappell T.D., Ramshur J.T., Waters R.S. Forelimb amputation-induced reorganization in the ventral posterior lateral nucleus (VPL) provides a substrate for large-scale cortical reorganization in rat forepaw barrel subfield (FBS). *Brain Res*. 2014; 1583: 89–108. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.07.022>.
79. Davidson J.H., Khor K.E., Jones L.E. A cross-sectional study of post-amputation pain in upper and lower limb amputees, experience of a tertiary referral amputee clinic. *Disabil Rehabil*. 2010; 32 (22): 1855–62. <https://doi.org/10.3109/09638281003734441>.
80. Ткаченко Г.А., Степанова А.М., Мерзлякова А.М. Психологическая коррекция фантомной боли у онкологических больных. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. 2017; 3: 38–42. Tkachenko G.A., Stepanova A.M., Merzlyakova A.M. Psychological correction of phantom pain in cancer patients. *Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin*. 2017; 3: 38–42 (in Russ.).
81. Bates T.J., Ferguson J.R., Pierre S.N. Technological advances in prosthesis design and rehabilitation following upper extremity limb loss. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2020; 13 (4): 485–93. <https://doi.org/10.1007/s12178-020-09656-6>.

## Сведения об авторах / About the authors

Корабельников Даниил Иванович, к.м.н., доцент / Daniil I. Korabelnikov, PhD, Assoc. Prof. – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0459-0488>. Scopus Author ID: 7801382184. eLibrary SPIN-code: 7380-7790. E-mail: [dkorabelnikov@mail.ru](mailto:dkorabelnikov@mail.ru).

Ткаченко Евгений Валентинович / Evgeny V. Tkachenko – ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4123-4649>. eLibrary SPIN-code: 8840-3202.

Магомедалиев Магомедали Омарасхабович / Magomedali O. Magomedaliev – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0483-1050>. Scopus Author ID: 58284748000. eLibrary SPIN-code: 1474-8905.