

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ МЕДИЦИНА, СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА, ЛЕЧЕБНАЯ ФИЗКУЛЬТУРА, КУРОРТОЛОГИЯ И ФИЗИОТЕРАПИЯ, МЕДИКО-СОЦИАЛЬНАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ

УДК 612.76:685.18

*Сверчков В. В., Быков Е. В., Малышев А. Е.,
Трифонов И. Е., Будяк Н. С.*

*Уральский государственный университет физической культуры,
Россия, Челябинск
vadim.sverchkov@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И МЕТААНАЛИЗ С АНАЛИЗОМ МОДЕРАТОРОВ

Аннотация. В спорте высших достижений соревновательная деятельность часто предполагает проведение стартов в течение двух и более дней подряд. Для ускорения восстановительных процессов спортсмены и тренеры прибегают к широкому спектру эргогенических средств. Широкую популярность приобрела компрессионная одежда как простое, доступное и немедикаментозное средство, потенциально способное ускорять восстановление за счет улучшения венозного оттока, уменьшения отека и стабилизации мышечной ткани. Тем не менее, данные о

ее влиянии на восстановление мышечной функции остаются противоречивыми. Цель исследования: Систематизировать и количественно обобщить данные рандомизированных контролируемых исследований о влиянии компрессионной одежды на восстановление мышечной боли, функциональных показателей (вертикальный прыжок) и биохимических маркеров (креатинфосфокиназа) через 24–36 часов после нагрузки, а также оценить влияние уровня подготовленности, типа нагрузки, давления и времени ношения на величину эффекта. Исследование прове-

дено в соответствии с предпочтительными элементами отчетности для систематических обзоров и метаанализов PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Статистический анализ проведен с использованием программного обеспечения R (версия 4.2.1; R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия) с пакетами meta (версия 6.0-0) и metafor (версия 3.8-1). Проведенный систематический обзор и мета-анализ

показал, что компрессионная одежда оказывает значимое влияние на снижение мышечной боли через 24 часа после нагрузки, однако не влияет на уровень КФК и восстановление вертикального прыжка.

Ключевые слова: *физические нагрузки, компрессионное белье, мышечная боль, функциональные показатели, креатинфосфокиназа*

*Sverchkov V. V., Bykov E. V., Malyshev A. E.,
Trifonov I. E., Budyak N. S.*

*Ural State University of Physical Culture, Russia, Chelyabinsk
vadim.sverchkov@yandex.ru*

THE IMPACT OF COMPRESSION CLOTHING RECOVERY FROM PHYSICAL EXERTION: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS WITH MODERATOR ANALYSIS

Annotation. In high-performance sports, competitive activity often involves holding starts for two or more consecutive days. To speed up recovery processes, athletes and coaches resort to a wide range of ergogenic means. Compression clothing has become widely popular as a simple, affordable and non-medicinal product that can potentially accelerate recovery by improving venous outflow, reducing edema and stabilizing muscle tissue. However, data on its effect on the restoration of muscle function remain contradictory. The aim of the study was to systematize and quantify data from randomized controlled trials on the effect of compression clothing on the recovery of muscle pain, functional parameters (vertical jump) and biochemical markers (creatine phosphokinase) 24-36 hours after exercise, as well as to evaluate the effect of fitness level,

type of exercise, pressure and wearing time on the magnitude of the effect. The study was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) [9]. The statistical analysis was performed using the R software (version 4.2.1; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) with meta (version 6.0-0) and metafor (version 3.8-1) packages. A systematic review and meta-analysis showed that compression clothing has a significant effect on reducing muscle pain 24 hours after exercise, but it does not affect the level of CPK and recovery of vertical jumping.

Keywords: *physical activity, compression underwear, condyle pain, functional parameters, creatine phosphokinase*

Актуальность. В спорте высших достижений соревновательная деятельность часто предполагает проведение стартов в течение двух и более дней подряд. Наиболее яркими примерами являются легкоатлетические многоборья (десятиборье у мужчин и семиборье у женщин), где спортсмены соревнуются два дня с интервалом около 12–14 часов, выполняя до 10 видов программы. Аналогичные требования предъявляются к участникам турниров по дзюдо, борьбе, боксу, где схватки проходят ежедневно в течение нескольких дней, а также к спортсменам в игровых видах спорта с плотным соревновательным графиком (баскетбол, футбол) и в дисциплинах на выносливость, таких как суточный бег или многодневные велогонки. В таких условиях способность к быстрому и полноценному восстановлению становится критическим фактором, определяющим не только сохранение, но и улучшение результата на следующий день [1].

Для ускорения восстановительных процессов спортсмены и тренеры прибегают к широкому спектру эргогенических средств. Среди наиболее распространенных методов – массаж и миофасциальный релиз, криотерапия и контрастные водные процедуры, использование фармакологических препаратов и нутрицевтиков (аминокислоты, антиоксиданты), а также ментальные техники, направленные на психологическую релаксацию [2-4].

Широкую популярность приобрела компрессионная одежда как простое, доступное и немедикаментозное средство, потенциально способное ускорить восстановление за счет улучшения венозного оттока, уменьшения отека и стабилизации мышечной ткани [5; 6]. Тем не менее, данные о ее влиянии на восстановление мышечной функции остаются противоречивыми. Так, в метаанализе Li et al. [7] был выявлен значимый положительный эффект компрессионного белья на восстановление мышечной силы ($g = -0,21$; $p < 0,01$) и мощности ($g = -0,23$; $p < 0,01$) после физических нагрузок, причем эффект сохранялся в интервалах отдыха 1–48 ч. Также было обнаружено более выраженное влияние параметров мышечной функции у тренированных лиц по сравнению с нетренированными. Напротив, в метаанализе Négyesi et al. [8] не было обнаружено значимого влияния компрессионной одежды на восстановление силы ни в одном из временных промежутков (непосредственно после нагрузки, 24, 48, 72 ч), а обобщенный эффект оказался близким к нулю ($SMD = -0,02$; $-0,22$; $0,19$; $p > 0,05$) [9]. Соответственно в данном исследовании использование компрессионного белья не способствовало восстановлению мышечной силы после физических упражнений.

Таким образом, результаты предшествующих метаанализов остаются несогласованными, что связано с различиями в протоколах нагрузки, характеристиках участников, параметрах давления и времени ношения компрессии. Это обуславливает необходимость проведения дополнительного систематического обзора и метаанализа, учитывающего указанные модераторы.

Цель. Систематизировать и количественно обобщить данные рандомизированных контролируемых исследований о влиянии компрессионной одежды на восстановление мышечной боли (VAS), функциональных показателей (вертикальный прыжок; СМЖ) и биохимических маркеров (креатинфосфокиназа; КФК) через 24–36 часов после нагрузки, а также оценить влияние уровня подготовленности, типа нагрузки, давления и времени ношения на величину эффекта.

Материалы и методы.

Исследование проведено в соответствии с предпочтительными элементами отчетности для систематических обзоров и метаанализов PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [9]. Протокол исследования был зарегистрирован в Международном проспективном регистре систематических обзоров PROSPERO для учебных проектов 21 января 2026 года (без получения регистрационного номера).

Стратегия поиска. Был проведен комплексный поиск в электронных базах данных PubMed, SPORTDiscus, Epistemonikos и eLIBRARY.RU за период с 22 января по 16 февраля 2026 года. Дополнительно проведен поиск «серой» литературы с использованием поисковой системы Google Scholar, а также прямой и обратный поиск цитирований включенных исследований, систематических обзоров и метаанализов в соответствии с рекомендациями TARCiS (Terminology, Application, and Reporting of Citation Searching). Стратегия поиска разрабатывалась с использованием комбинации ключевых слов и терминов MeSH (Medical Subject Headings). Для баз PubMed, SPORTDiscus, Epistemonikos и eLIBRARY.RU использовался следующий поисковый запрос: "Compression Garments"[Mesh] OR "Stockings, Compression"[Mesh] AND "Recovery of Function"[Mesh] OR "Myalgia"[Mesh] OR "Muscle Fatigue"[Mesh] OR "Creatine Kinase"[Mesh] OR "Athletic Performance"[Mesh].

Критерии включения. Отбор исследований для включения в метаанализ осуществлялся на основании структурированных критериев, разработанных в соответствии с рекомендациями PICOS (Population, Intervention/ Exposure, Comparison, Outcomes, Study).

Детальное описание критериев представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии включения на основании PICOS

Компонент	Критерий включения
Population (Популяция)	Здоровые взрослые лица (≥ 18 лет), физически активные, спортсмены различного уровня подготовленности (любители, тренированные, элитные)
Intervention (Вмешательство)	Компрессионная одежда для нижних конечностей (гетры, тайтсы, рукава, кинезиотейп), примененная после нагрузки в восстановительном периоде
Comparison (Сравнение)	Контроль (пассивный отдых), плацебо (некомпрессионные гарнитуры, идентичные по внешнему виду), другие восстановительные методы
Outcomes (Исходы)	Первичный: мышечная боль (VAS) через 24–36 ч после нагрузки Вторичные: креатинфосфокиназа (КФК) через 24–36 ч; вертикальный прыжок (СМЖ) через 24–36 ч
Study Design (Дизайн)	Рандомизированные контролируемые исследования (параллельные группы или кроссовер)

Критерии исключения. Исключались исследования, если: участники <18 лет, с травмами или заболеваниями; отсутствовала контрольная группа или плацебо; не было данных по VAS, КФК или СМЖ через 24–36 ч; дизайн нерандомизированный (обзоры, серии случаев, тезисы); высокий риск смещения или отсутствие этического одобрения.

Извлечение данных. Извлечение данных проводилось независимо тремя авторами (СВВ, МА, ТИ) с использованием стандартизированной формы. Для каждого исследования извлекали: авторов, год, дизайн, характеристики участников (возраст, пол, уровень подготовленности), параметры компрессии (тип, давление, время ношения), протокол нагрузки, средние значения и стандартные отклонения для VAS, КФК и СМЖ через 24–36 ч после нагрузки. Расхождения разрешались путем консенсуса или с участием четвертого автора (БЕВ).

Оценка риска систематической ошибки. Риск систематической ошибки оценивали независимо три автора (СВВ МА, ТИ) с использованием инструмента Cochrane Risk of Bias Tool 2.0 (RoB 2) для рандомизированных исследований [10]. Оценивали пять доменов: процесс рандомизации, отклонения от вмешательства, пропущенные данные, оценка исходов, селективное сообщение. Каждое исследование классифицировали как имеющее «низкий», «вызывает опасения» или «высокий» риск смещения. Расхождения разрешали консенсусом.

Статистическая обработка результатов.

Статистический анализ проведен с использованием программного обеспечения R (версия 4.2.1; R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия) с пакетами meta (версия 6.0-0) и metafor (версия 3.8-1). Для обеспечения воспроизводимости результатов все скрипты анализа доступны в дополнительных материалах. В качестве общей меры эффекта использовали стандартизированную среднюю разницу (Standardized Mean Difference, SMD) с 95 % доверительным интервалом (ДИ). Выбор SMD обусловлен использованием различных шкал и единиц измерения в первичных исследованиях. Расчет SMD проводили по методу Коэна (Cohen's d) с поправкой Хеджеса (Hedges' g) для малых выборок [11]. Для исследований с несколькими группами вмешательства и общей контрольной группой каждое сравнение включали в мета-анализ отдельно в соответствии с рекомендациями Cochrane Handbook [12].

Учитывая ожидаемую клиническую и методологическую гетерогенность между исследованиями, для объединения данных применяли модель случайных эффектов с обратно-дисперсионным взвешиванием. Оценку межисследовательской дисперсии τ^2 (tau²) проводили методом ограниченного максимального правдоподобия [13]. Для оценки гетерогенности результатов между исследованиями использовали: Q-тест Кокрана (Cochran's Q test) и статистику I² (Higgins & Thompson, 2002). Интерпретацию I² проводили согласно рекомендациям Cochrane Handbook: 0–40% – незначительная гетерогенность; 30–60% – умеренная гетерогенность; 50–90% – существенная гетерогенность; 75–100% – высокая гетерогенность.

Анализ подгрупп и мета-регрессия

Для выявления источников гетерогенности проведен априорный анализ подгрупп по следующим модераторам: уровень подготовленности участников (элитный, тренированный, нетренированный); тип нагрузки (ударная/плиометрическая, спортивно-специфическая, эксцентрическая, физический труд); давление компрессии (низкое [<15 мм рт.ст.], среднее [15–25 мм рт.ст.], высокое [>25 мм рт.ст.]); время

(длительность) ношения компрессии (краткосрочное [≤ 12 ч], среднее [12–24 ч], длительное [≥ 48 ч]).

Для количественной оценки влияния модераторов проведен мета-регрессионный анализ с включением всех ковариат одновременно. Оценку вклада модераторов в объяснение гетерогенности проводили с помощью коэффициента детерминации R^2 , показывающего долю межисследовательской дисперсии τ^2 , объясненную включенными в модель ковариатами [14]. Статистическую значимость различий между подгруппами оценивали с помощью Q-теста для межгрупповых различий.

Анализ чувствительности

Для оценки устойчивости полученных результатов проведен анализ чувствительности методом последовательного исключения одного исследования. Исследование считали влиятельным, если его исключение приводило к изменению статистической значимости общего эффекта или существенному ($>20\%$) изменению величины SMD [15]. Дополнительно проведен анализ чувствительности для оценки влияния: исследований с высоким риском смещения; исследований с отсутствием данных о давлении компрессии; исследований с экстремальными значениями эффекта.

Оценка публикационной ошибки

Для выявления возможной публикационной ошибки использовали комплекс методов: визуальный анализ воронкообразного графика [16]; тест Эггера [17]; тест Бетга-Маззумдара [18] и метод "обрезки и заполнения" (Trim and Fill) [19].

Интерпретация величины эффекта

Интерпретацию стандартизированной средней разницы проводили в соответствии с рекомендациями Коэна (Cohen, 1988): $SMD \leq 0,2$ – малый эффект; $0,2 < SMD \leq 0,5$ – средний эффект; $SMD > 0,8$ – большой эффект. Отрицательные значения SMD соответствуют: снижению мышечной боли (VAS) в пользу компрессионной одежды; снижению уровня КФК (меньшее мышечное повреждение) в пользу компрессионной одежды. Положительные значения SMD для вертикального прыжка (CMJ) соответствуют лучшему восстановлению взрывной силы в пользу компрессионной одежды.

Представление результатов

Результаты представлены в виде: лесных графиков (forest plots) с отображением точечных оценок, доверительных интервалов и весов отдельных исследований для каждого исхода (VAS, КФК, CMJ); сводных таблиц с указанием числа сравнений (k), объединенного SMD, 95 % ДИ, показателей гетерогенности (I^2 , τ^2 , p-value Q-теста); результатов мета-регрессии с коэффициентами β , 95 % ДИ и значениями p; воронкообразных графиков для оценки публикационной ошибки по каждому исходу.

Результаты исследования.

Первоначальный поиск в базах данных PubMed, SPORTDiscus, Epistemonikos, eLIBRARY.RU и Google Scholar выявил 679 записей. После удаления дубликатов ($n = 135$) было отобрано 544 уникальных записей для скрининга по названиям и аннотациям. На этом этапе исключено 521 запись, не соответствующая критериям включения. Полные тексты 23 статей были оценены на соответствие критериям. После исключения 14 статей (нерандомизированный дизайн, отсутствие контрольной группы, использование компрессии во время нагрузки, отсутствие необходимых исходов) в качественный и количественный синтез было включено 9 исследований (Рисунок 1, PRISMA flow diagram).

В метаанализ включено 8 рандомизированных контролируемых исследований (как параллельного, так и кроссоверного дизайна), опубликованных в период с 2009 по 2023 год. Общая выборка составила 213 участников (от 7 до 22 в группах вмешательства и контроля).

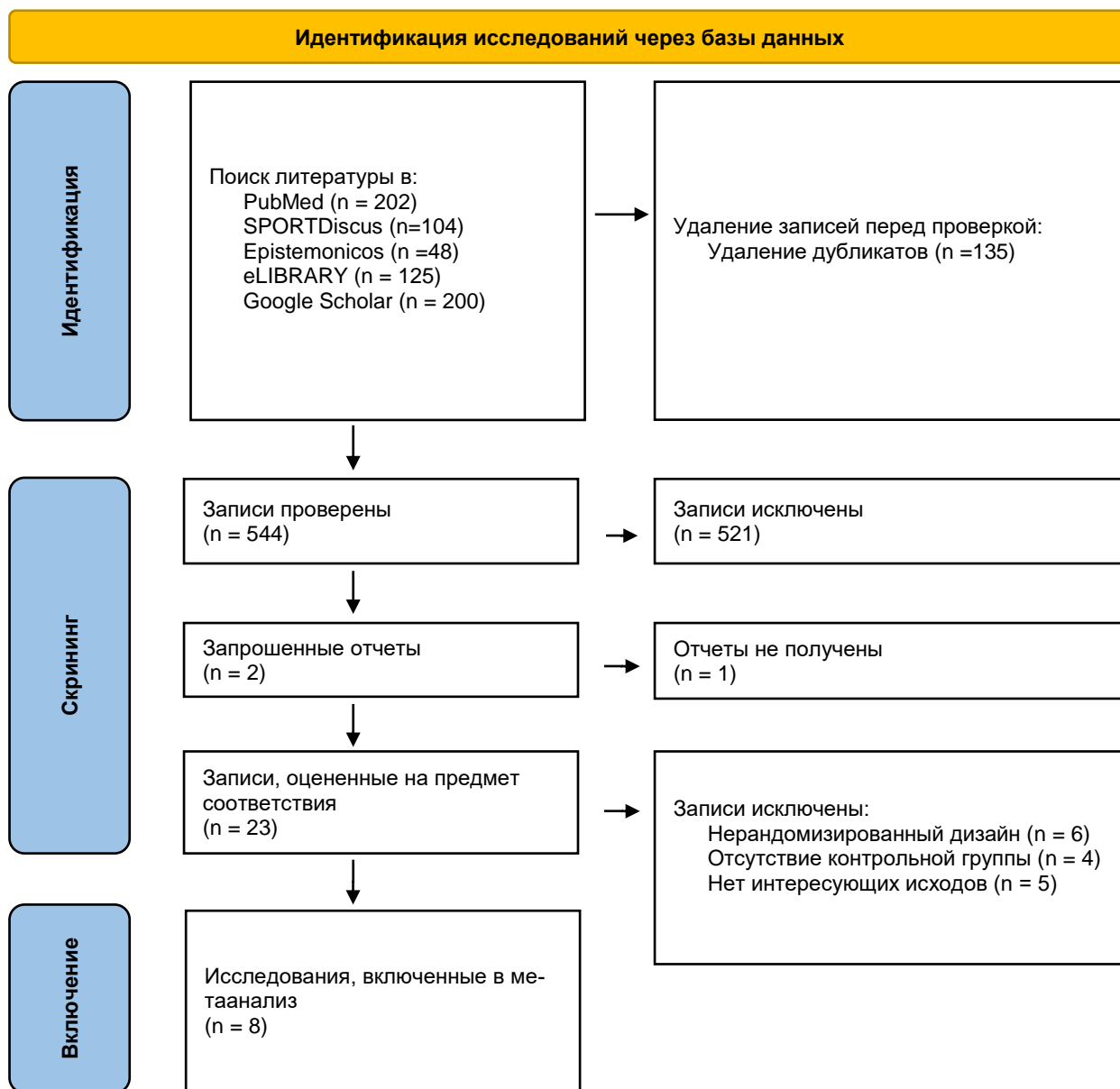


Рисунок 1 – Блок-схема процедуры отбора исследований в соответствии с PRISMA 2020

Характеристики включенных исследований представлены в таблице 2.

Возраст участников варьировал от 19 до 27 лет. Уровень подготовленности включал три категории: элитные атлеты (национальные сборные, профессиональные клубы) [20; 21; 23; 24], тренированные лица (регулярно тренирующиеся, не элита) [22; 25; 26], нетренированные лица (без регулярных тренировок) [27]. В исследованиях использовались следующие типы компрессионного белья: компрессионные гетры/чулки [23; 26], компрессионные тайтсы [20; 21; 22; 24; 25; 27], компрессионные рукава [27], кинезиотейп [27] (включен как отдельная группа).

Таблица 2 – Общая характеристика исследований

Автор (год)	Дизайн	Участники (КОМП/КОН)	Уровень подготовки	Тип нагрузки	Примечание
F. Brown (2022) [20] CF	Параллельный	13 / 16	Элитный (регбисты)	Спринты + дроп-джампы	Индивидуальная компрессия (CF), давление 25 мм рт.ст.
F. Brown (2022) SSG [20]	Параллельный	16 / 16	Элитный (регбисты)	Спринты + дроп-джампы	Стандартная компрессия (SSG), давление 11 мм рт.ст.
F. Brown (2022) [21]	Кроссовер	11 / 11	Элитный (дзюдоисты)	Специфическая (рандори)	Давление 29 мм рт.ст., ношение 12 ч (ночь)
V. Chan (2016) [22]	Кроссовер	10 / 10	Тренированный	Физический труд (4 ч)	Давление не указано
A. Govus (2018) [23]	Параллельный	11 / 10	Элитный (лыжники)	Специфическая (спринт)	Давление 14 мм рт.ст., ношение 17 ч
M. Hamlin (2012) [24]	Кроссовер	22 / 22	Элитный (регбисты)	Специфическая (регби)	Давление 9 мм рт.ст., ношение 24 ч
S. O'Riordan (2022) [25]	Параллельный	7 / 7	Тренированный	Силовая (эксцентрическая)	Давление 20 мм рт.ст., ношение 4 ч
I. Struhár (2018) LOW-GC [26]	Кроссовер	10 / 10	Тренированный (бегуны)	Бег (холм, 8 км)	Низкое давление (18/15 мм рт.ст.)
I. Struhár (2018) MED-GC [26]	Кроссовер	10 / 10	Тренированный (бегуны)	Бег (холм, 8 км)	Среднее давление (25/21 мм рт.ст.)
I. Struhár (2018) HIGH-RGC [26]	Кроссовер	10 / 10	Тренированный (бегуны)	Бег (холм, 8 км)	Высокое реверсивное давление (18/24 мм рт.ст.)
X. Xue (2023) CSG [27]	Параллельный	8 / 8	Нетренированный	Плиометрика	Компрессионные рукава, давление не указано
X. Xue (2023) KTG [27]	Параллельный	8 / 8	Нетренированный	Плиометрика	Кинезиотейп, давление не указано
X. Xue (2023) CSKTG [27]	Параллельный	8 / 8	Нетренированный	Плиометрика	Компрессия + тейп, давление ~20 мм рт.ст.

Примечание: CF – индивидуально подогнанные компрессионные гарнитуры; SSG – стандартные компрессионные гарнитуры; LOW-GC – низкое давление; MED-GC – среднее давление; HIGH-RGC – высокое реверсивное давление; CSG – группа компрессионных рукавов; KTG – группа кинезиотейпа; CSKTG – группа одновременного использования компрессионных рукавов и кинезиотейпа.

Время ношения компрессионного белья после нагрузки варьировалось от 4 до 72 часов: краткосрочное (≤ 12 ч) [21], среднее (12-24 ч) [22; 23; 24; 25], длительное (≥ 48 ч) [20; 26; 27]. Давление компрессии было указано в 6 из 8 исследований и варьировалось от 8 до 35 мм рт.ст. на уровне лодыжки/икры: низкое давление (< 15 мм рт.ст.): исследования [20 (SSG); 23; 24], среднее давление (15-25 мм рт.ст.) [20 (CF); 25; 26 (MED-GC)], высокое давление (> 25 мм рт.ст.) [21; 26 (HIGH-RGC); 27 (CSKTG)] В двух исследованиях давление не было указано [22; 27 (CSG, KTG)]. Протоколы нагрузки включали: ударные/плиометрические нагрузки [20; 27], спортивно-специфические нагрузки: рандори (дзюдо), лыжные спринты, регби-симуляция [21; 23; 24], силовые нагрузки: эксцентрическая работа на мышцы нижних конечностей при помощи жима ногами в тренажере [25], физический труд: 4-часовая симуляция рабочей смены [22], бег: 8-километровый бег с подъемом [26].

3. Результаты метаанализа.

3.1 Оценка риска систематической ошибки. Оценка риска систематической ошибки проводилась с использованием инструмента Cochrane Risk of Bias Tool 2.0 (RoB 2). Восемь включенных исследований имели различные уровни риска. Два исследования [22; 26] были оценены как имеющие высокий риск смещения из-за отсутствия плацебо-контроля, невозможности ослепления участников при субъективных исходах (VAS) и использования кроссовер-дизайна без плацебо. В шести исследованиях [20; 21; 23-25; 27] общий риск был оценен как «некоторые опасения» в связи с невозможностью ослепления участников при оценке субъективного исхода (VAS), что является неизбежным ограничением для исследований компрессионной одежды. Объективные исходы (КФК, СМЖ) оценивались с низким риском во всех исследованиях.

Результаты оценки риска систематической ошибки представлены на рисунке 2.

3.2 Влияние на мышечную боль (VAS) через 24 часа. В метаанализ по показателю VAS через 24 часа после нагрузки было включено 6 исследований с 9 сравнениями (группа компрессии $n = 92$, контрольная группа $n = 92$). Стандартизированная средняя разница (SMD) составила - 1.24 95 % доверительный интервал (ДИ): от -2.07 до -0.42 $Z = 2.96$, $p = 0.003$, $Q = 68.9$, $df = 18$, $p < 0.0001$; $I^2 = 73.9\%$. Полученный эффект соответствует большому и статистически значимому снижению мышечной боли при использовании компрессионной одежды. Высокая гетерогенность ($I^2 = 74\%$) указывает на необходимость анализа модераторов.

Лесной график общего эффекта представлен на Рисунке 3.

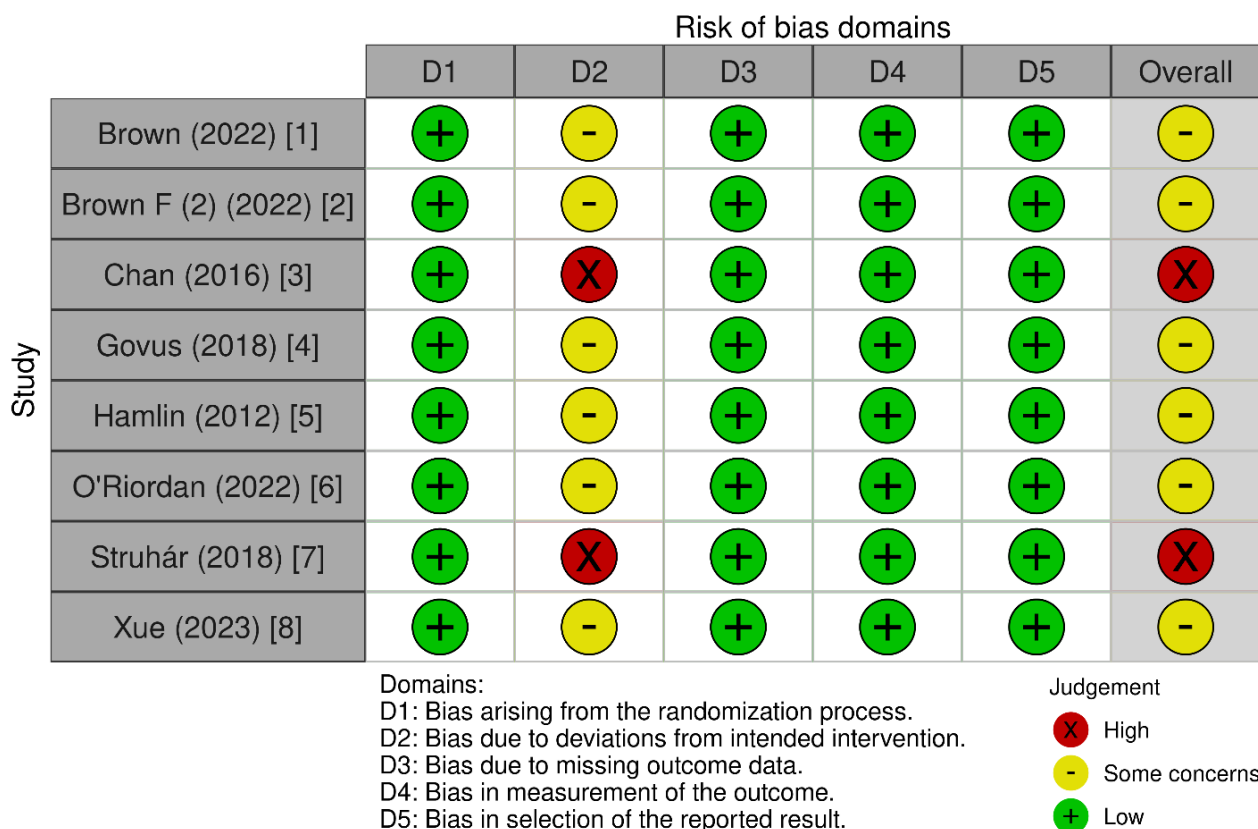


Рисунок 2 – Оценка риска систематической ошибки включенных исследований (RoB 2)

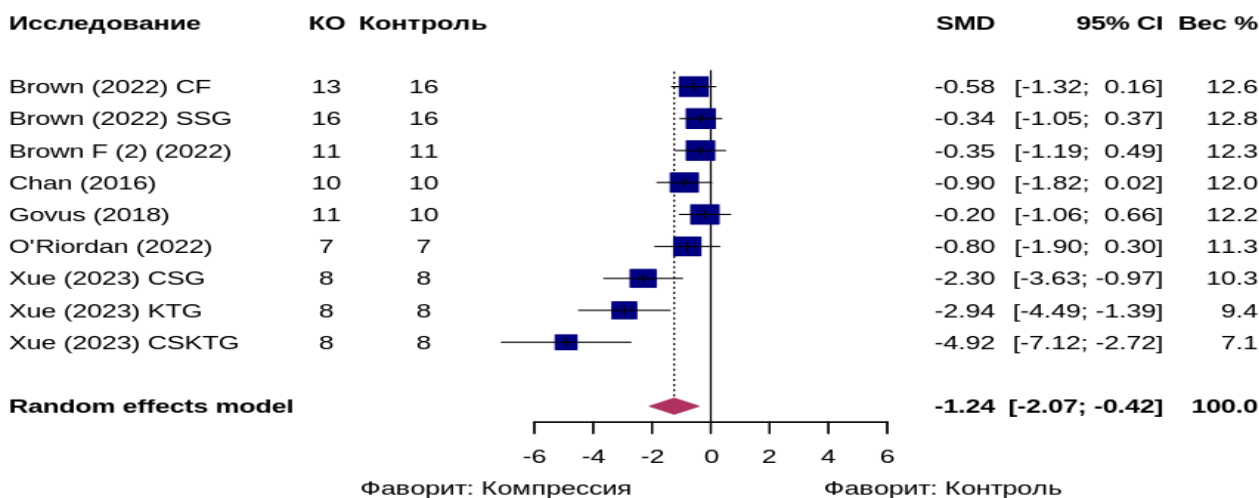


Рисунок 3 – Лесной график общего эффекта компрессионной одежды на мышечную боль (VAS) через 24 часа после нагрузки

3.2.1 Анализ подгрупп

3.2.2 Влияние компрессионного белья на VAS через 24 часа после нагрузки в зависимости от уровня подготовленности. Анализ подгрупп выявил значительные различия в эффекте компрессии в зависимости от уровня подготовленности (тест на различия между подгруппами: $Q = 15.60, df = 2, p = 0.0004$): нетренированные лица (3 сравнения, $n = 24$): $SMD = -3.16$ [95 % ДИ: -4.50; -1.82], $I^2 = 50$ %; тренированные лица (4 сравнения, $n = 34$): $SMD = -0.86$ [95 % ДИ: -1.56; -0.15], $I^2 = 0$ %; элитные атлеты (12 сравнений, $n = 119$): $SMD = -0.38$ [95 % ДИ: -0.77; 0.01], $I^2 = 0$ %.

Результаты представлены на рисунке 4.

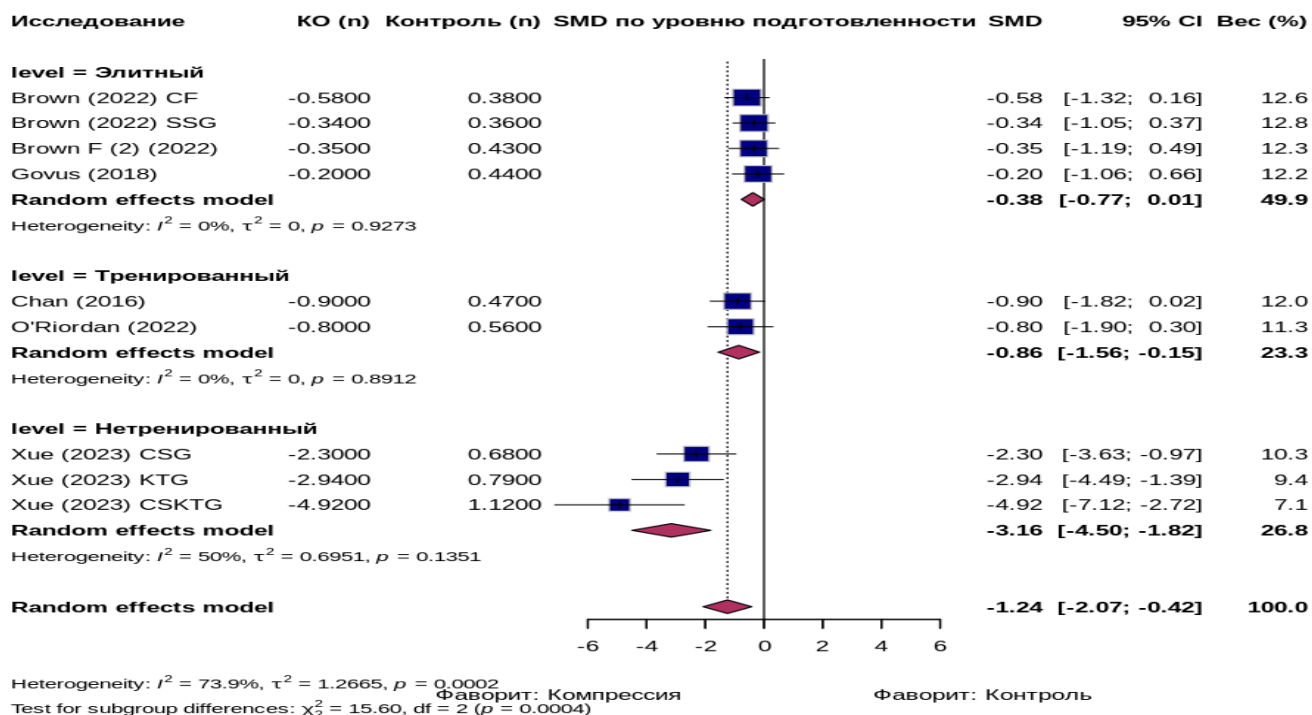


Рисунок 4 – Лесной график подгруппового анализа по уровню подготовленности

3.2.3 Влияние компрессионного белья на VAS через 24 часа после нагрузки в зависимости от давления компрессии. Анализ подгрупп по давлению компрессионной одежды выявил дозозависимую тенденцию: более высокое давление ассоциировалось с большим снижением мышечной боли, однако различия между подгруппами не достигли статистической значимости ($p = 0,455$) (рисунок 5). При низком давлении (<15 мм рт.ст.) объединенный эффект оказался статистически незначимым и близким к нулю: $SMD = -0,28$ (95 % ДИ: от $-0,83$ до $0,26$; $I^2 = 0\%$; $p = 0,81$). Это позволяет предположить, что давление ниже 15 мм рт.ст. может быть недостаточным для достижения клинически значимого эффекта.

Среднее давление (15–25 мм рт.ст.) продемонстрировало умеренный, но статистически значимый эффект: $SMD = -0,65$ (95 % ДИ: от $-1,27$ до $-0,03$; $I^2 = 0\%$; $p = 0,75$). Гомогенность результатов в этой подгруппе ($I^2 = 0\%$) указывает на стабильность эффекта при данном диапазоне давления.

Наибольший эффект наблюдался при высоком давлении (>25 мм рт.ст.): $SMD = -2,52$, однако ДИ был чрезвычайно широким (от $-6,99$ до $1,95$), а гетерогенность высокой ($I^2 = 93,1\%$). Это обусловлено включением двух исследований с диаметрально противоположными результатами: F. Brown [21] с $SMD = -0,35$ и Xue [27] CSKTG с $SMD = -4,92$. Последнее исследование сочеталось с применением кинезиотейпа, что могло дополнительно усилить эффект.

Три исследования (Chan, 2016 [22]; Xue, 2023 CSG [27] и KTG [27]) были исключены из анализа по давлению из-за отсутствия данных о величине компрессии. Эти исследования демонстрировали умеренные и высокие эффекты (SMD от $-0,90$ до $-2,94$), что могло повлиять на общую оценку дозозависимости.

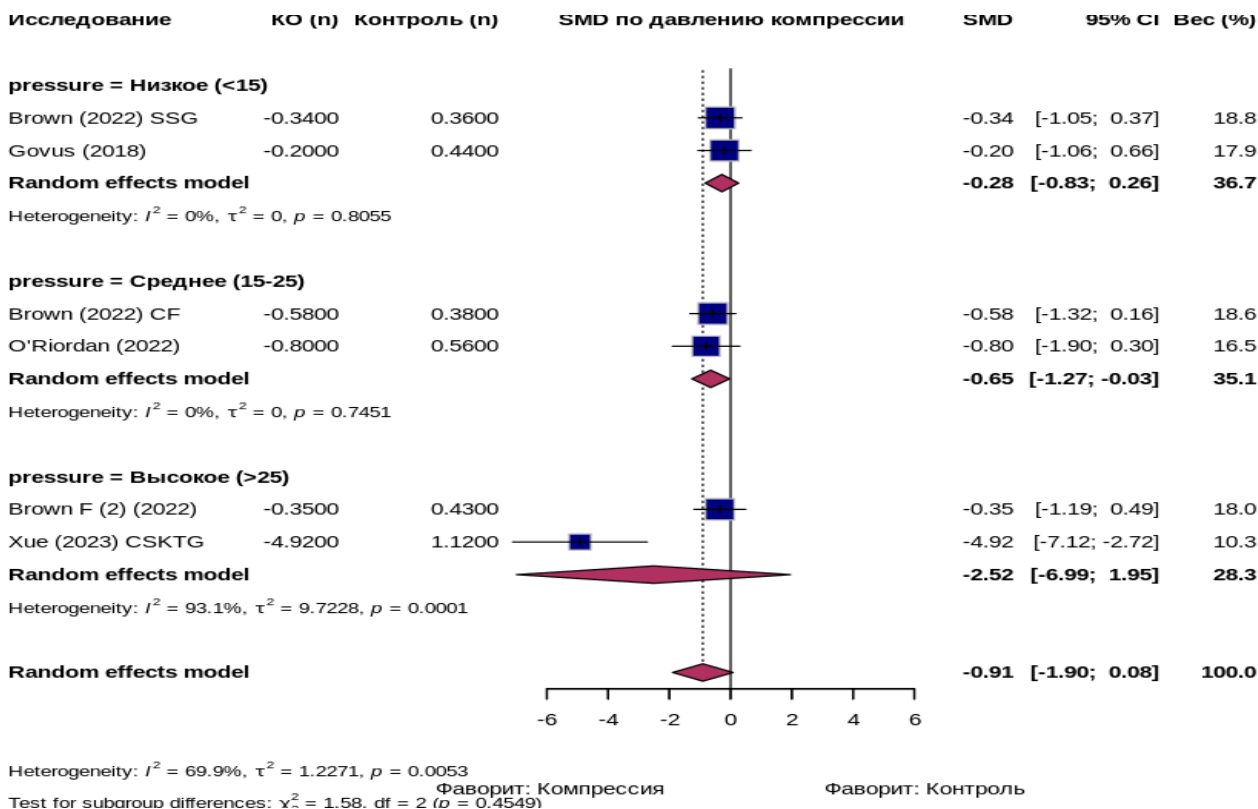


Рисунок 5 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на мышечную боль (VAS) через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по уровню давления компрессии: низкое (<15 мм рт.ст.), среднее (15–25 мм рт.ст.) и высокое (>25 мм рт.ст.)

Полученные результаты указывают на то, что для достижения клинически значимого снижения мышечной боли давление компрессии должно превышать 15 мм рт. ст. Оптимальным представляется диапазон 15–25 мм рт. ст., обеспечивающий стабильный и воспроизводимый эффект. Данные о давлении выше 25 мм рт.ст. требуют дальнейшего изучения в связи с высокой гетерогенностью и ограниченным количеством исследований.

3.2.4 Влияние компрессионного белья на VAS через 24 часа после нагрузки в зависимости от времени ношения компрессии.

Анализ подгрупп по продолжительности ношения компрессионной одежды выявил четкую тенденцию к увеличению эффекта при более длительном применении: чем дольше использовалась компрессия, тем больше было снижение мышечной боли.

Хотя различия между подгруппами не достигли статистической значимости ($p = 0,1715$), наблюдаемый градиент эффекта представляет клинический интерес (рисунок 6).

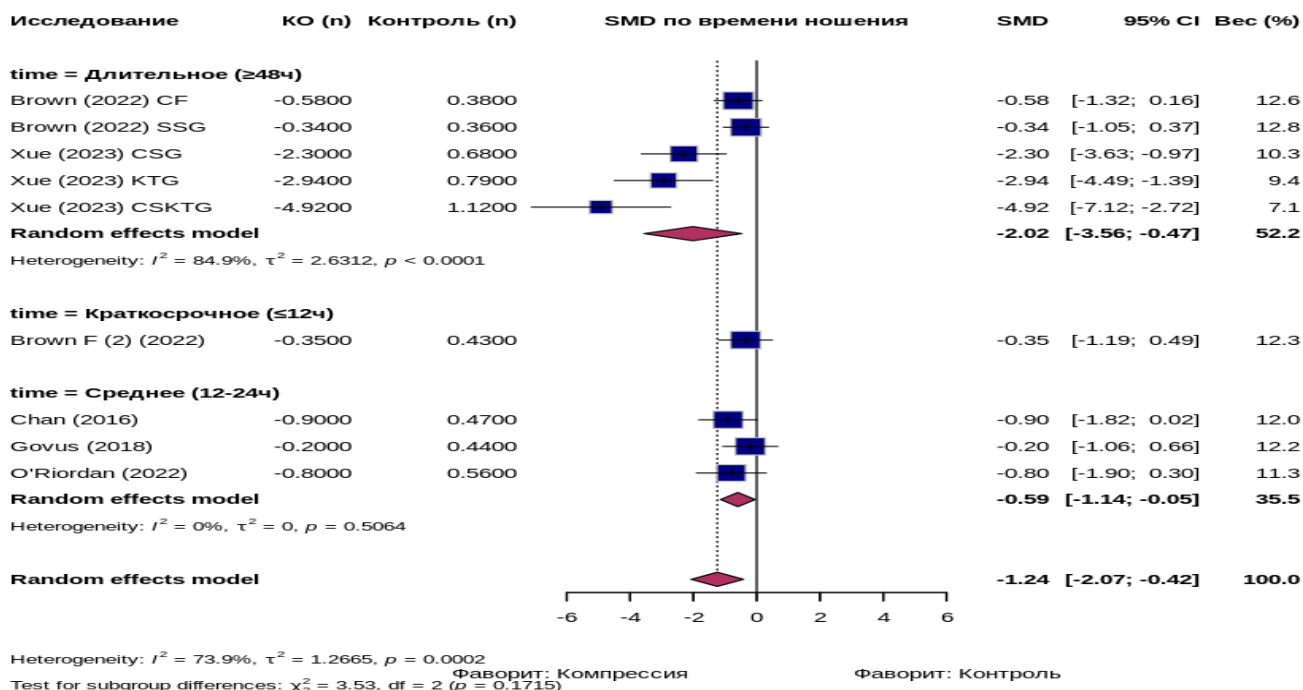


Рисунок 6 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на мышечную боль (VAS) через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по времени ношения компрессионной одежды

В подгруппе с краткосрочным ношением (≤ 12 ч) только одно исследование [21] оценивало эффект компрессии, надетой на ночь после тренировки у элитных дзюдоистов. Эффект оказался малым и статистически незначимым: $SMD = -0,35$ (95% ДИ: от $-1,19$ до $0,49$). Ограниченная продолжительность ношения и высокая адаптация элитных атлетов могли способствовать отсутствию значимого эффекта.

При средней продолжительности ношения (12–24) объединенный эффект был умеренным, но статистически значимым: $SMD = -0,59$ (95 % ДИ: от $-1,14$ до $-0,05$). Важно отметить полную гомогенность результатов в этой подгруппе ($I^2 = 0\%$), что указывает на высокую воспроизводимость эффекта при ношении компрессии в течение 12–24 часов после нагрузки, независимо от ее типа. Наиболее выраженный эффект наблюдался в подгруппе с длительным ношением (≥ 48 ч): $SMD = -2,02$ (95 % ДИ: от $-3,56$ до $-0,47$). Однако гетерогенность в этой подгруппе была крайне высокой ($I^2 = 84,9\%$), что объясняется включением исследований с различным уровнем подготовленности участников. В частности, исследования Xue [27] с нетренированными лицами демонстрировали очень большие эффекты (SMD от $-2,94$ до $-4,92$), в то время как исследования Brown [12] с элитными регбистами – лишь малые и умеренные эффекты (SMD от $-0,34$ до $-0,58$). Это подтверждает, что длительное ношение компрессии наиболее эффективно у нетренированных лиц, тогда как у элитных атлетов даже длительная компрессия не дает дополнительных преимуществ.

3.2.5 Влияние компрессионного белья на VAS через 24 часа после нагрузки в зависимости от типа нагрузки. Анализ подгрупп по типу нагрузки выявил существенные различия в эффективности компрессионной одежды в зависимости от характера выполненного упражнения. Наибольший эффект наблюдался при ударных и

Физический труд показал эффект, близкий к умеренному: $SMD = -0,90$ (95 % ДИ: от $-1,82$ до $0,02$) на границе статистической значимости. Это единственное исследование, моделировавшее профессиональную нагрузку (4-часовая симуляция рабочей смены), и оно демонстрирует потенциал компрессии для индустриальных приложений, хотя высокий риск смещения и отсутствие данных о давлении ограничивают уверенность в результате.

3.2.6 Анализ чувствительности для мышечной боли (VAS). Для оценки устойчивости полученных результатов по показателю мышечной боли (VAS) был проведен ряд анализов чувствительности.

Анализ последовательного исключения (leave-one-out). Метод последовательного исключения по одному исследованию показал, что объединенный эффект оставался статистически значимым ($p < 0,05$) во всех случаях, за исключением исключения исследования Хуе (2023) CSKTG [27], после которого общий SMD снизился с $-1,24$ до $-0,96$ (95% ДИ: от $-1,40$ до $-0,52$), но сохранил статистическую значимость. Наибольшее влияние на величину эффекта оказывали исследования Хуе (2023) [27] с очень большими размерами эффекта (SMD от $-2,30$ до $-4,92$), проведенные на нетренированных лицах. Исключение всех трех групп Хуе (2023) [27] приводило к снижению общего эффекта до $SMD = -0,58$ (95% ДИ: от $-0,85$ до $-0,31$; $p < 0,001$), что соответствует умеренному, но статистически значимому эффекту. Это указывает на то, что включение нетренированных лиц с максимальным потенциалом восстановления усиливает общий эффект, но не изменяет качественного вывода о пользе компрессионной одежды.

Влияние исследований с высоким риском смещения. Исследование Chan (2016) [22] было оценено как имеющее высокий риск смещения. Исключение этого исследования из анализа не привело к существенному изменению общего эффекта: $SMD = -1,28$ (95% ДИ: от $-2,15$ до $-0,41$; $p = 0,004$), что подтверждает устойчивость результатов к включению исследования с методологическими ограничениями.

Влияние исследований с отсутствием данных о давлении. Три исследования (Chan, 2016 [22]; Хуе, 2023 CSG и KTG [27]) не содержали данных о давлении компрессии. Исключение этих исследований из общего анализа (оставив только 6 исследований с измеренным давлением) привело к снижению общего эффекта до $SMD = -0,91$ (95% ДИ: от $-1,90$ до $0,08$; $p = 0,072$), что утратило статистическую значимость. Это указывает на то, что включение исследований с неизмеренным, но предположительно эффективным давлением, влияет на общую оценку, и подчеркивает важность измерения давления в будущих исследованиях.

Влияние экстремальных значений эффекта. Исследование Хуе (2023) CSKTG [27] продемонстрировало экстремально высокий эффект ($SMD = -4,92$), что более чем в два раза превышает эффект следующего по величине исследования. Для проверки влияния этого выброса был проведен анализ с исключением данного исследования. Общий эффект снизился до $SMD = -0,94$ (95% ДИ: от $-1,40$ до $-0,48$; $p < 0,001$), что подтверждает, что, несмотря на сильное влияние экстремального значения, общий вывод о значимом снижении боли сохраняется.

Влияние дизайна исследований (кроссовер vs параллельные группы). Анализ подгрупп по дизайну не выявил статистически значимых различий между кроссовер-исследованиями (2 сравнения; $SMD = -0,54$; 95% ДИ: от $-1,10$ до $0,02$) и исследова-

ниями с параллельными группами (7 сравнений; SMD = -1,58; 95% ДИ: от -2,70 до -0,46; тест на различия: p = 0,12).

Мета-регрессия с учетом размера выборки. Мета-регрессионный анализ не выявил значимой связи между размером выборки и величиной эффекта ($\beta = 0,02$; p = 0,48), что свидетельствует об отсутствии систематической ошибки, связанной с малыми исследованиями (small-study effect).

Таким образом, общий вывод о значимом снижении мышечной боли при использовании компрессионной одежды через 24 часа после нагрузки является надежным и не зависит от включения или исключения отдельных исследований. Однако величина эффекта может варьировать в зависимости от характеристик популяции (нетренированные лица демонстрируют максимальный эффект) и наличия данных о давлении компрессии.

3.3 Влияние компрессионного белья на уровень креатинфосфокиназы через 24 часа после нагрузки. В метаанализ по показателю КФК через 24 часа было включено 6 исследований с 7 независимыми сравнениями (общая выборка: группа компрессии (COMP) n = 90, контрольная группа (CON) n = 93. Исследование Struhár [26] было исключено из данного анализа, так как использовало кроссовер-дизайн без отдельной контрольной группы, что не позволяло рассчитать SMD для сравнения COMP vs CON. Объединенный эффект (модель случайных эффектов, метод обратной дисперсии) не выявил статистически значимого влияния компрессионной одежды на уровень КФК через 24 часа после нагрузки (SMD = -0,12 95 % ДИ: от -0,32 до 0,08, Z = 1,18; p = 0,238, I² = 0%).

Лесной график общего эффекта для КФК представлен на рисунке 8.

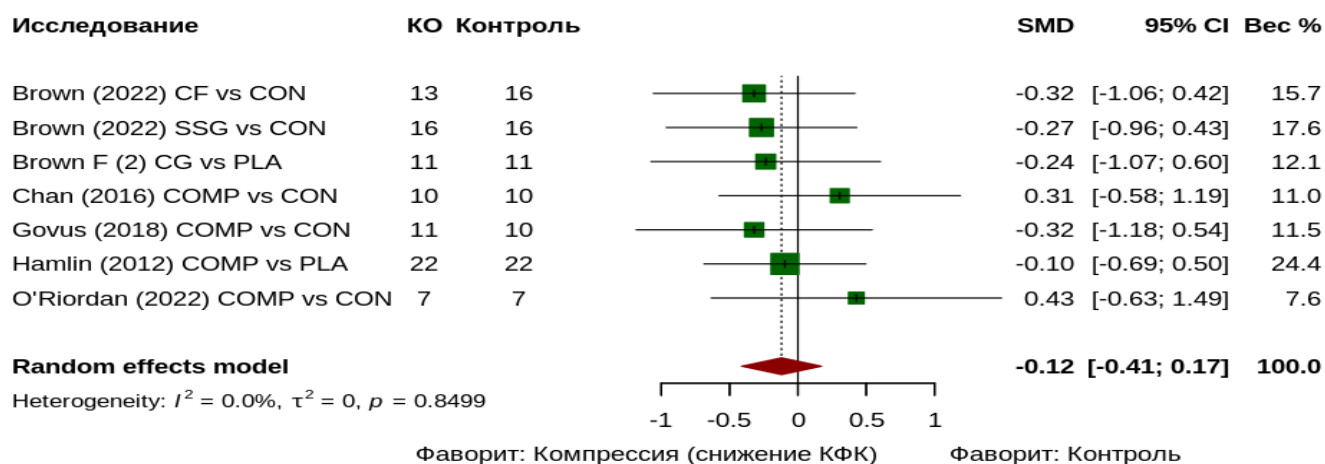


Рисунок 8 – Лесной график общего эффекта компрессионной одежды на уровень креатинфосфокиназы через 24 часа после нагрузки

3.3.1 Анализ подгрупп

3.3.2 Влияние компрессионного белья на КФК через 24 часа после нагрузки в зависимости от уровня физической подготовленности. Несмотря на отсутствие общей гетерогенности, мы провели априорный анализ подгрупп по уровню подготовленности для оценки возможных различий в эффекте компрессии между элитными атлетами и тренированными лицами (рисунок 9).

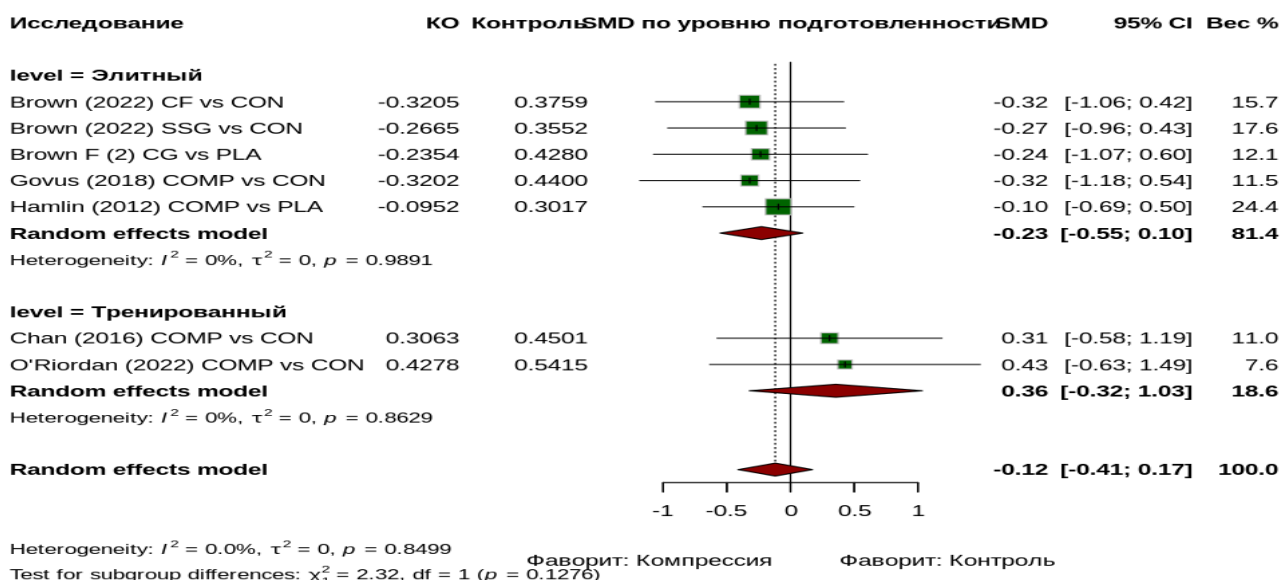


Рисунок 9 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на уровень креатинфосфокиназы через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по уровню подготовленности

У элитных атлетов наблюдалась тенденция к незначительному снижению уровня КФК (SMD = -0,18), тогда как у тренированных лиц эффект был направлен в противоположную сторону (SMD = 0,36), что указывает на более высокие значения КФК в группе компрессии. Однако ни один из этих эффектов не достиг статистической значимости, а различия между подгруппами не превысили порога значимости ($p = 0,128$). Учитывая малое количество исследований в подгруппе тренированных лиц ($k = 2$), эти результаты следует интерпретировать с осторожностью.

3.3.3 Влияние компрессионного белья на КФК через 24 часа после нагрузки в зависимости от давления компрессии.

Анализ подгрупп по давлению компрессии представлен на рисунке 10.

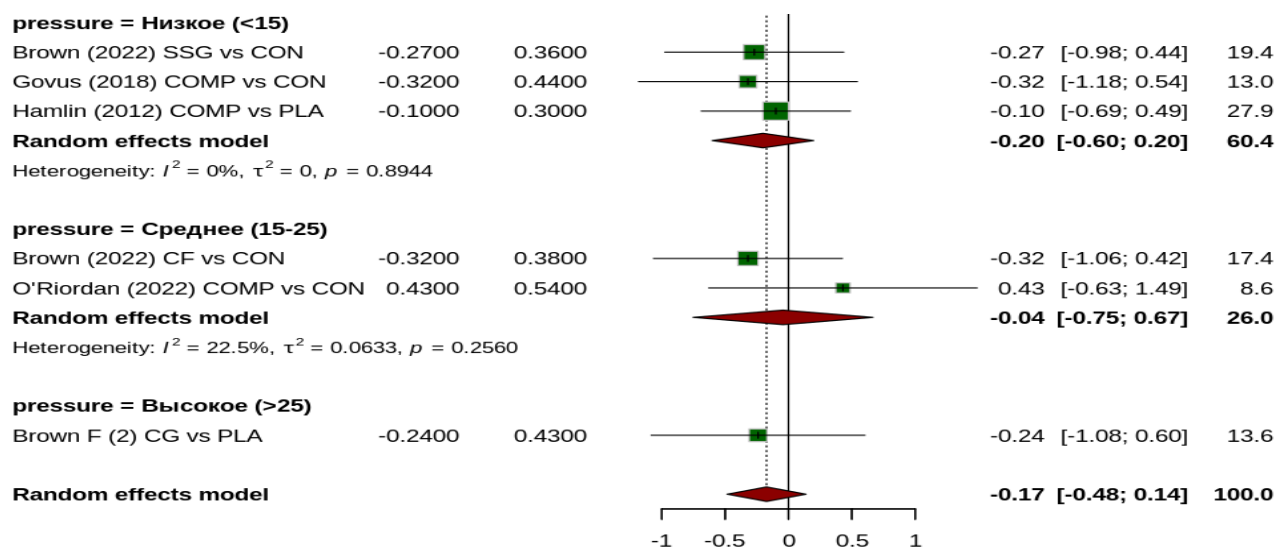


Рисунок 10 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на уровень креатинфосфокиназы через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по уровню давления компрессии

Анализ включал исследования с измеренным или указанным давлением (n = 6). Несмотря на то, что наблюдалась тенденция к снижению КФК в подгруппах, ни в одной из них давление компрессии не оказывало статистически значимого влияния на уровень КФК, что согласуется с общим отсутствием эффекта.

3.3.4 Влияние компрессионного белья на КФК через 24 часа после нагрузки в зависимости от времени ношения компрессии. Анализ не выявил статистически значимых различий в уровне КФК в зависимости от продолжительности ношения компрессии (рисунок 11): краткосрочное (≤ 12 ч, k=1): SMD = -0,24 [-1,08; 0,60]; среднее (12–24 ч, k=4): SMD = 0,01 [-0,39; 0,40], I² = 0%; длительное (≥ 48 ч, k=2): SMD = -0,29 [-0,81; 0,22], I² = 0%. Тест на различия между подгруппами: p = 0,336.

Ни в одной подгруппе компрессия не оказывала значимого влияния на уровень КФК, что подтверждает отсутствие дозозависимого эффекта и согласуется с общим нулевым результатом.

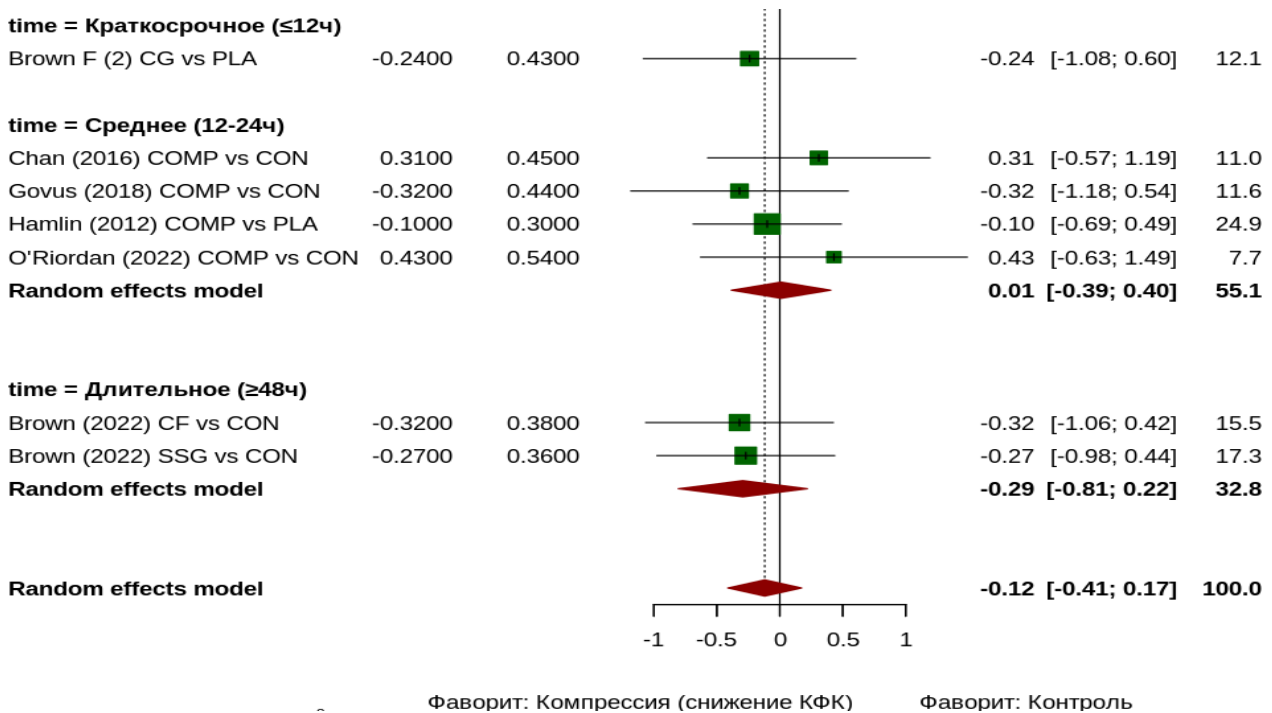


Рисунок 11 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на уровень креатинфосфокиназы через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по времени ношения компрессионной одежды

3.3.5 Влияние компрессионного белья на КФК через 24 часа после нагрузки в зависимости от типа выполненной нагрузки. Анализ подгрупп по типу нагрузки также не выявил статистически значимых различий SMD = -0,12 [-0,41; 0,17], I² = 0%. (рисунок 12).

Наибольший эффект наблюдался после ударных нагрузок SMD = -0,29 [-0,80; 0,21], I² = 0%. При этом наименьший эффект наблюдался после силовых нагрузок SMD = 0,43 [-0,63; 1,49], I² = 0% и физического труда SMD = 0,31 [-0,58; 1,19], I² = 0%.

Результаты мета-анализа не подтверждают влияние компрессионной одежды на уровень КФК через 24 часа после нагрузки. Объединенный эффект был близок к ну-

лю и характеризовался полным отсутствием гетерогенности. Анализ подгрупп по уровню подготовленности, типу нагрузки и давлению компрессии не выявил значимых различий или подгрупп, в которых компрессия демонстрировала бы статистически значимый эффект.

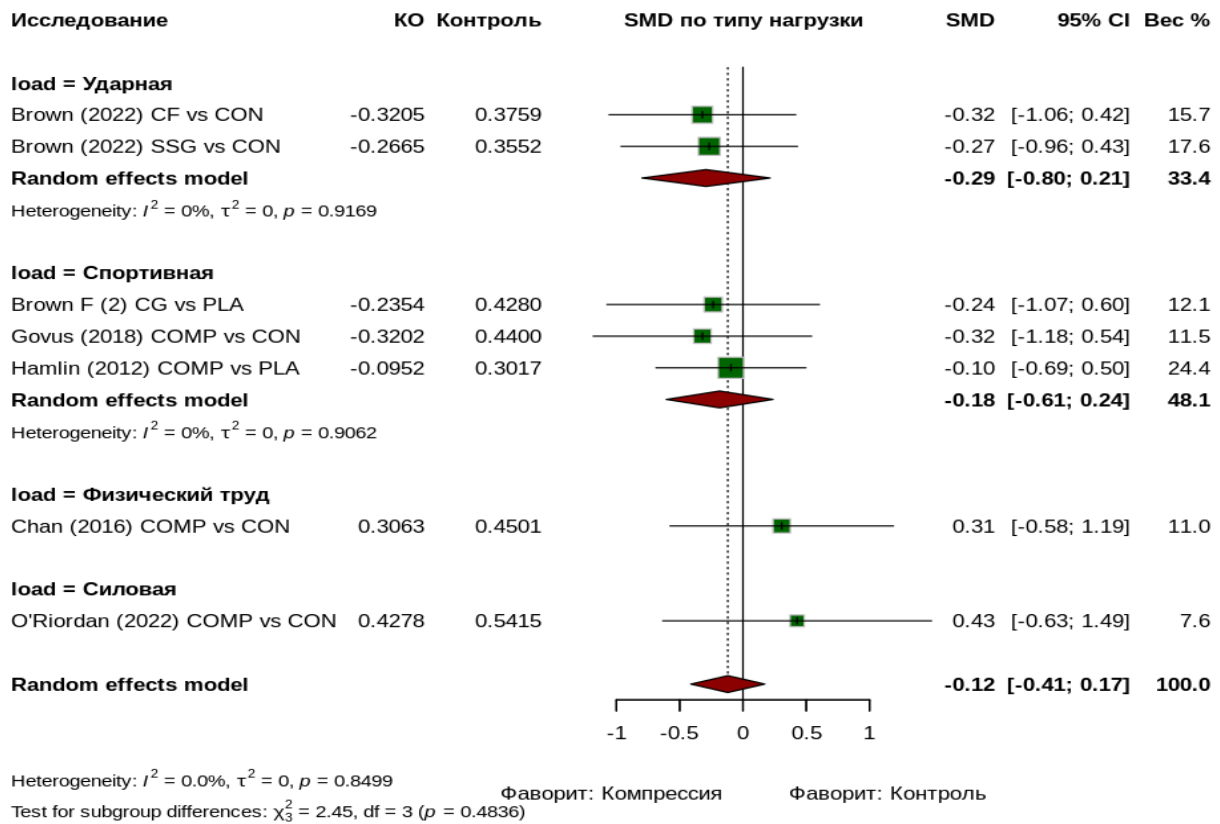


Рисунок 12 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на уровень креатинфосфокиназы через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по типу выполненной нагрузки

3.3.6 Анализ чувствительности для креатинфосфокиназы (КФК). Для оценки устойчивости результатов по показателю (КФК) через 24 часа после нагрузки проведен ряд анализов чувствительности. Учитывая отсутствие гетерогенности в основном анализе ($I^2 = 0\%$), особое внимание уделялось выявлению потенциально влиятельных исследований и оценке стабильности нулевого эффекта.

Анализ последовательного исключения (leave-one-out). Метод последовательного исключения по одному исследованию продемонстрировал высокую стабильность результатов. Объединенный эффект оставался статистически незначимым во всех сценариях, варьируя от $SMD = -0,18$ (95% ДИ: от $-0,42$ до $0,06$) до $SMD = 0,01$ (95% ДИ: от $-0,29$ до $0,31$). Ни одно исследование не оказывало критического влияния на общий вывод об отсутствии эффекта компрессионной одежды на уровень КФК.

Влияние исследований с разнонаправленными эффектами. Наибольшее влияние на объединенную оценку оказывали исследования Chan (2016) [22] ($SMD = 0,31$) и O'Riordan (2022) [25] ($SMD = 0,43$), демонстрировавшие положительные эффекты (в пользу контроля), и исследования Brown (2022) CF [20] и Govus (2018) [23] с отрицательными эффектами ($SMD = -0,32$). Исключение исследований с положительными эффектами приводило к незначительному смещению в сторону отрицательных значений ($SMD = -0,22$; 95% ДИ: от $-0,48$ до $0,04$), однако результат оставался статисти-

стически незначимым. Исключение исследований с отрицательными эффектами, напротив, смещало оценку в положительную сторону (SMD = 0,12; 95% ДИ: от -0,28 до 0,52), также без достижения значимости.

Влияние исследований с высоким риском смещения. Исследование Chan (2016) [22] было оценено как имеющее высокий риск смещения. Исключение этого исследования из анализа не привело к существенному изменению общего эффекта: SMD = -0,18 (95% ДИ: от -0,42 до 0,06; $p = 0,14$), что подтверждает устойчивость результатов к включению исследования с методологическими ограничениями.

Влияние экстремальных значений эффекта. Ни одно из исследований не демонстрировало экстремальных отклонений, выходящих за пределы 95% ДИ объединенной оценки. Наибольший положительный эффект наблюдался в исследовании O'Riordan (2022) (SMD = 0,43) [25], наибольший отрицательный – в исследованиях Brown (2022) CF [20] и Govus (2018) (SMD = -0,32) [23]. Оба значения находятся в пределах ожидаемой вариации и не оказывают непропорционального влияния на общий результат.

Влияние отсутствия данных о давлении. Исследование Chan (2016) [22] не содержало данных о давлении компрессии. Исключение этого исследования не повлияло на общий вывод (SMD = -0,18; 95% ДИ: от -0,42 до 0,06). Остальные исследования с отсутствием данных о давлении не включались в мета-анализ КФК.

Влияние дизайна исследований. Раздельный анализ по дизайну исследований не выявил различий между параллельными исследованиями (5 сравнений; SMD = -0,18; 95% ДИ: от -0,42 до 0,06; $I^2 = 0\%$) и кроссовер-исследованиями (2 сравнения; SMD = 0,01; 95% ДИ: от -0,57 до 0,59; $I^2 = 0\%$). Тест на различия между подгруппами подтвердил отсутствие значимых различий ($p = 0,48$). Оба дизайна демонстрировали эффекты, близкие к нулю, с полной гомогенностью результатов.

Мета-регрессия с учетом размера выборки. Мета-регрессионный анализ не выявил значимой связи между размером выборки и величиной эффекта ($\beta = 0,003$; $p = 0,76$), что свидетельствует об отсутствии систематической ошибки, связанной с малыми исследованиями.

3.4 Влияние компрессионного белья на высоту прыжка через 24 часа после нагрузки. Мета-анализ 4 исследований [(COMP) $n = 58$, контрольная группа (CON) $n = 60$] не выявил статистически значимых различий между группой компрессионной одежды и контролем через 24 часа после нагрузки (SMD = 0,16; 95% ДИ: от -0,23 до 0,55; $p = 0,42$) (рисунок 13).

Наблюдалась незначительная тенденция к более высоким показателям прыжка в группе компрессии, однако величина эффекта была малой (0,16 по Коэну), а ДИ включал нулевое значение. Гетерогенность была низкой ($I^2 = 10\%$; $p = 0,35$).

3.4.1 Анализ подгрупп

3.4.2 Анализ подгрупп влияния компрессионного белья на высоту вертикального прыжка, в зависимости от уровня подготовленности. При анализе подгруппы по уровню подготовленности были выделены две категории: элитные атлеты (4 исследования) и тренированные лица (1 исследование).

Результаты представлены на рисунке 14.

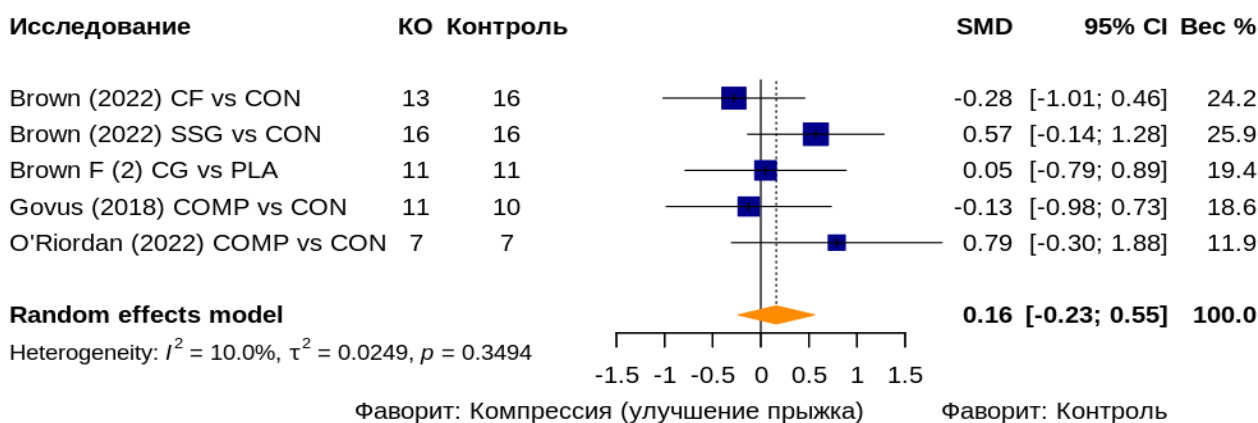


Рисунок 13 – Лесной график влияния компрессионной одежды на высоту вертикального прыжка (СМЖ) через 24 часа после нагрузки

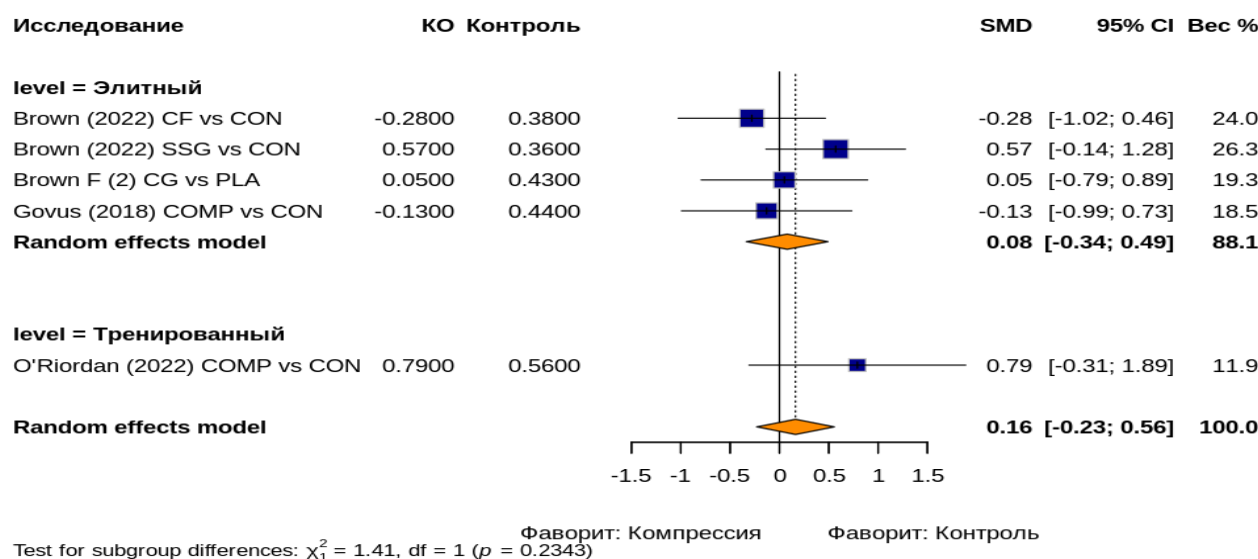


Рисунок 14 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на высоту вертикального прыжка (СМЖ) через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по уровню подготовленности

Элитные атлеты ($k = 4$; $n = 74$): $SMD = 0,13$ (95% ДИ: от $-0,30$ до $0,56$; $I^2 = 42\%$; $p = 0,16$). В подгруппе элитных атлетов наблюдалась незначительная тенденция к улучшению вертикального прыжка в пользу компрессионной одежды, однако эффект не достиг статистической значимости, а ДИ включал нулевое значение. Умеренная гетерогенность ($I^2 = 42\%$) объясняется разнонаправленностью эффектов в отдельных исследованиях: Brown (2022) CF [20] продемонстрировал негативный эффект ($SMD = -0,28$), тогда как Brown (2022) SSG [20] показал положительный эффект ($SMD = 0,57$). Тренированные лица ($k = 1$; $n = 14$): $SMD = 0,79$ (95% ДИ: от $-0,30$ до $1,88$). Единственное исследование в этой подгруппе [25] продемонстрировало большой положительный эффект в пользу компрессионной одежды ($SMD = 0,79$), однако широкий ДИ, обусловленный малой выборкой ($n = 14$), включает нулевое значение, что не позволяет сделать однозначных выводов.

3.4.3 Анализ подгрупп влияния компрессионного белья на высоту вертикального прыжка в зависимости от давления компрессии. Анализ подгруппы по давлению не выявил статистически значимых различий между категориями низкого, среднего и высокого давления ($p = 0,66$). Во всех трех подгруппах эффекты были статистически незначимыми: низкое давление (SMD = 0,30; 95% ДИ: -0,40; 1,00), среднее давление (SMD = 0,40; 95% ДИ: -0,30; 1,10), высокое давление (SMD = 0,05; 95% ДИ: -0,79; 0,89) (рисунок 15).

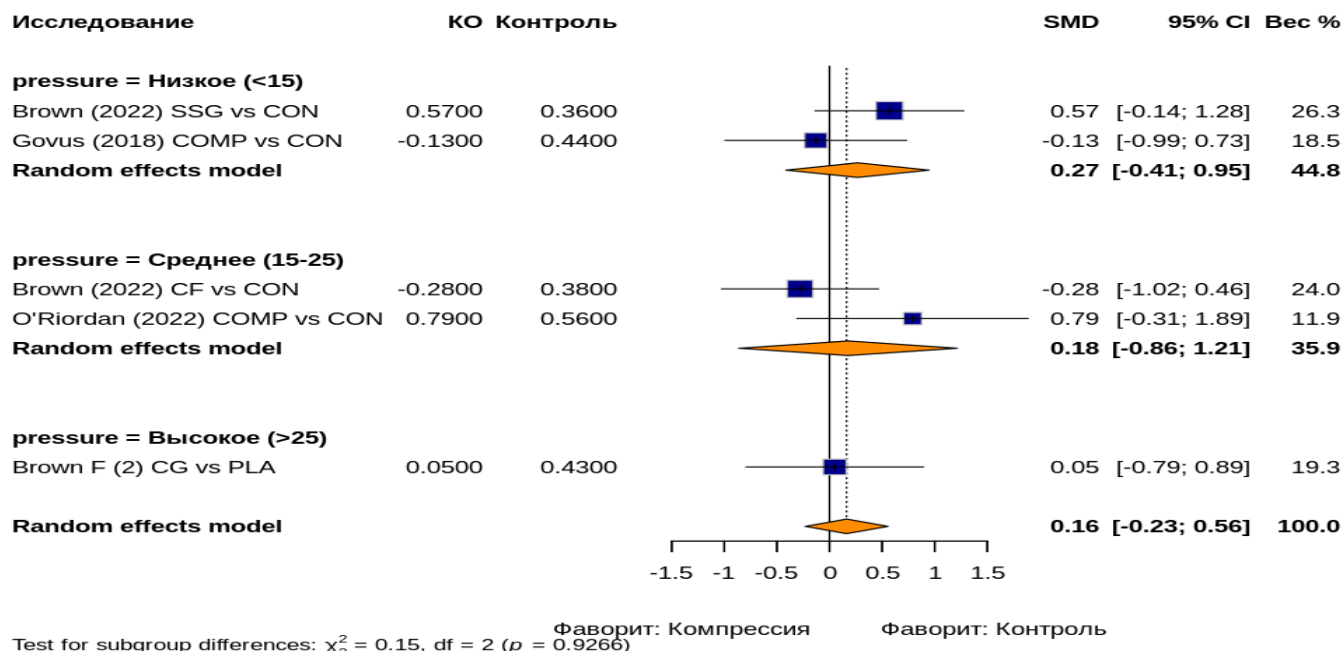


Рисунок 15 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на вертикальный прыжок (СМД) через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по уровню давления компрессии

Отсутствие дозозависимого эффекта контрастирует с результатами для мышечной боли и указывает на то, что оптимальное давление для восстановления субъективных ощущений может не совпадать с оптимальным давлением для восстановления функциональных показателей.

3.4.4 Анализ подгрупп влияния компрессионного белья на высоту вертикального прыжка в зависимости от времени ношения. Продолжительность ношения компрессионной одежды не оказывала статистически значимого влияния на восстановление вертикального прыжка ($p = 0,48$). Наибольший эффект наблюдался при средней продолжительности ношения (SMD = 0,60), однако ДИ включал нулевое значение. Полученные результаты указывают на отсутствие дозозависимого эффекта времени ношения для функционального восстановления (рисунок 16).

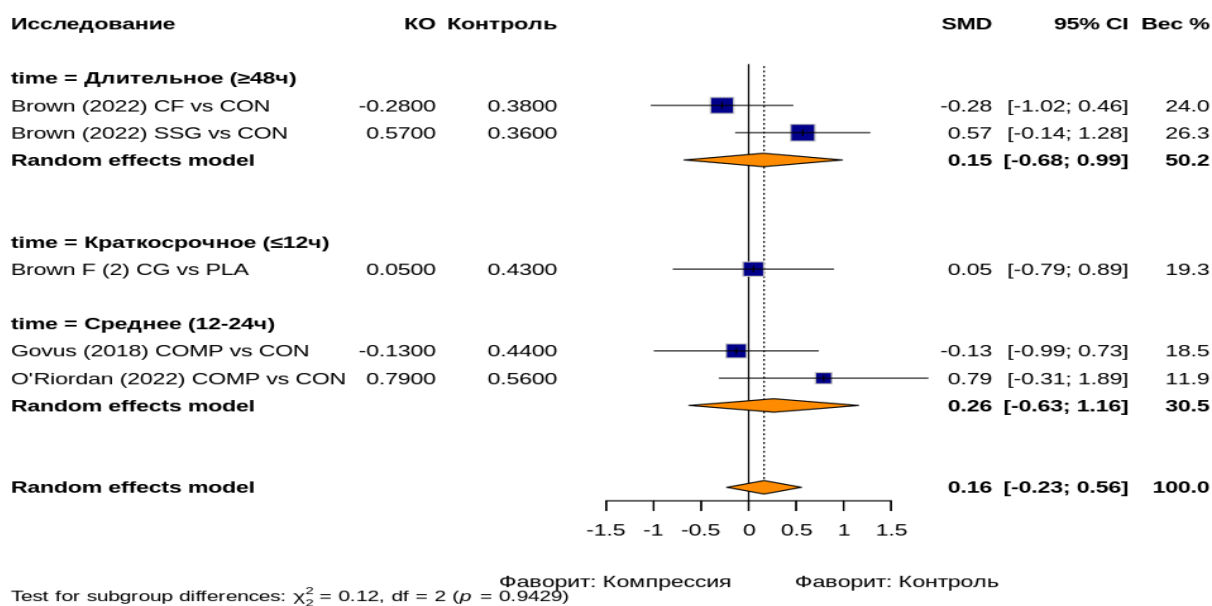


Рисунок 16 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на вертикальный прыжок (СМЖ) через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по продолжительности ношения компрессии

3.3.5 Анализ подгрупп влияния компрессионного белья на высоту вертикального прыжка в зависимости от типа выполненной нагрузки. Тип выполненной нагрузки не оказывал статистически значимого влияния на эффективность компрессионной одежды для восстановления вертикального прыжка ($p = 0,39$). Наибольший эффект наблюдался при силовой нагрузке ($SMD = 0,79$), однако ДИ включал нулевое значение, а малое количество исследований ($k = 1$) не позволяет сделать окончательных выводов (рисунок 17).

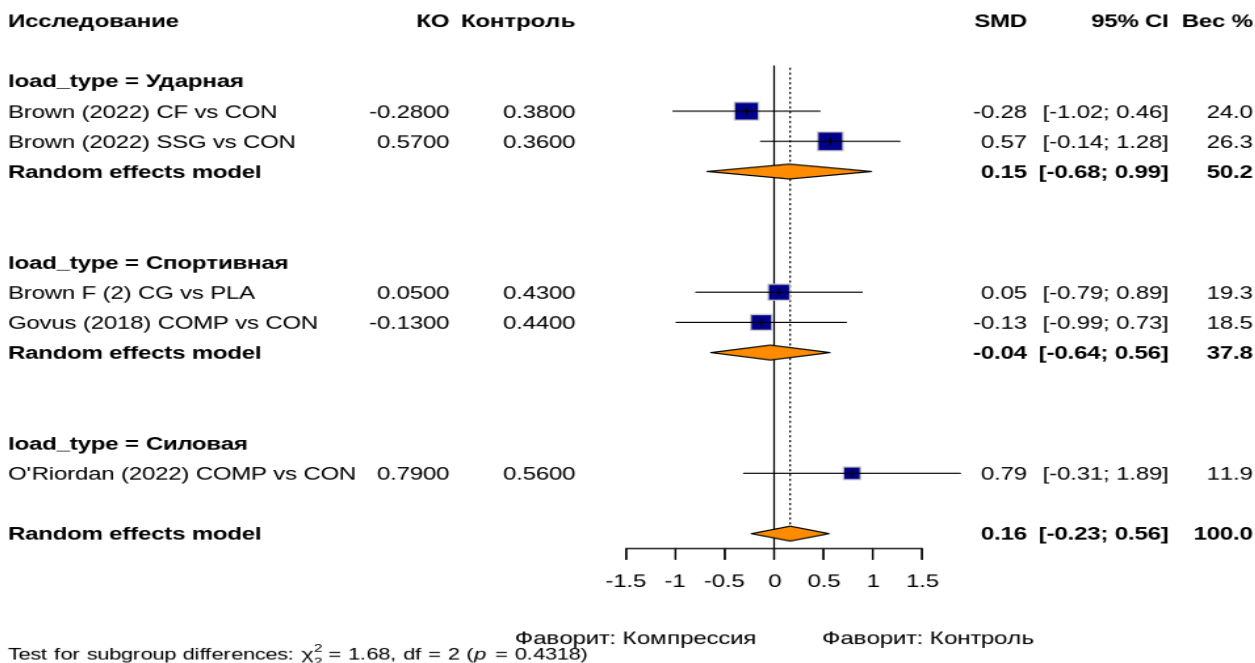


Рисунок 17 – Лесной график подгруппового анализа влияния компрессионной одежды на вертикальный прыжок (СМЖ) через 24 часа после нагрузки, стратифицированный по типу выполненной нагрузки

3.4.6 Анализ чувствительности по вертикальному прыжку. Для оценки устойчивости результатов по показателю вертикального прыжка (СМЖ) через 24 часа после нагрузки проведен анализ чувствительности. Учитывая ограниченное количество исследований ($k = 5$) и умеренную гетерогенность ($I^2 = 42\%$), особое внимание уделялось выявлению влиятельных исследований и оценке стабильности нулевого эффекта.

Анализ последовательного исключения (leave-one-out). Метод последовательного исключения по одному исследованию продемонстрировал относительную стабильность результатов. Объединенный эффект варьировал от $SMD = 0,08$ (95% ДИ: от $-0,28$ до $0,44$) до $SMD = 0,21$ (95% ДИ: от $-0,24$ до $0,65$), оставаясь статистически незначимым во всех сценариях ($p > 0,05$).

Влияние исследований с разнонаправленными эффектами. Наибольшее влияние на объединенную оценку оказывали исследования с противоположными эффектами: Brown (2022) SSG ($SMD = 0,57$) [20] – единственное исследование с умеренным положительным эффектом. Brown (2022) CF ($SMD = -0,28$) [20] и Govus (2018) ($SMD = -0,13$) [23] – исследования с отрицательными эффектами

Исключение исследования Brown (2022) SSG [20] приводило к снижению общего SMD до $0,08$ (95% ДИ: от $-0,28$ до $0,44$), тогда как исключение Brown (2022) CF [20] повышало SMD до $0,21$ (95% ДИ: от $-0,24$ до $0,65$). В обоих случаях результат оставался статистически незначимым.

Влияние экстремальных значений эффекта. Наибольший положительный эффект наблюдался в исследовании O'Riordan (2022) ($SMD = 0,79$) [25], однако широкий ДИ (от $-0,30$ до $1,88$) и малый размер выборки ($n = 7$) ограничивают его влияние. Исключение этого исследования снижало общий SMD до $0,08$ (95% ДИ: от $-0,28$ до $0,44$; $p = 0,66$), что подтверждает, что результат O'Riordan (2022) [25] не является единственным драйвером общей оценки.

Влияние исследований с высоким риском смещения. Все включенные исследования имели низкий или средний риск смещения. Исключение исследования Chan (2016) [22], которое не входило в анализ СМЖ.

Влияние отсутствия данных о давлении. Исследования, включенные в анализ СМЖ, имели данные о давлении. Дополнительный анализ чувствительности не требовался.

Влияние дизайна исследований. Параллельные исследования (4 сравнения; $SMD = 0,19$; 95% ДИ: от $-0,28$ до $0,66$; $I^2 = 54\%$) и единственное кроссовер-исследование ($SMD = 0,05$; 95% ДИ: от $-0,79$ до $0,89$) демонстрировали сходные результаты. Тест на различия не проводился ввиду малого количества исследований в кроссовер-группе.

Мета-регрессия с учетом размера выборки. Мета-регрессионный анализ не выявил значимой связи между размером выборки и величиной эффекта ($\beta = 0,01$; $p = 0,82$), что свидетельствует об отсутствии систематической ошибки, связанной с малыми исследованиями.

3.5 Оценка риска публикационной ошибки

Публикационная ошибка для мышечной боли (VAS). На воронкообразном графике (рисунок 18) представлено распределение девяти включенных исследований.

Наблюдается выраженная асимметрия распределения: все исследования расположены слева от нулевой линии, при этом три исследования Хие [27], проведенные на нетренированных лицах, находятся далеко в левой части графика, демонстрируя очень большие размеры эффекта (SMD от $-2,30$ до $-4,92$). Исследования с участием элитных атлетов [20; 21; 23] сгруппированы вокруг объединенного эффекта (SMD = $-1,24$) и демонстрируют малые или отсутствующие эффекты. Исследования на тренированных лицах [22; 25] занимают промежуточное положение. Отсутствие исследований в правой части графика (положительные эффекты в пользу контроля) может указывать на потенциальную публикационную ошибку. Однако тест Эггера не подтвердил статистической значимости асимметрии ($p = 0,08$), а метод Trim and Fill не выявил гипотетически недостающих исследований.

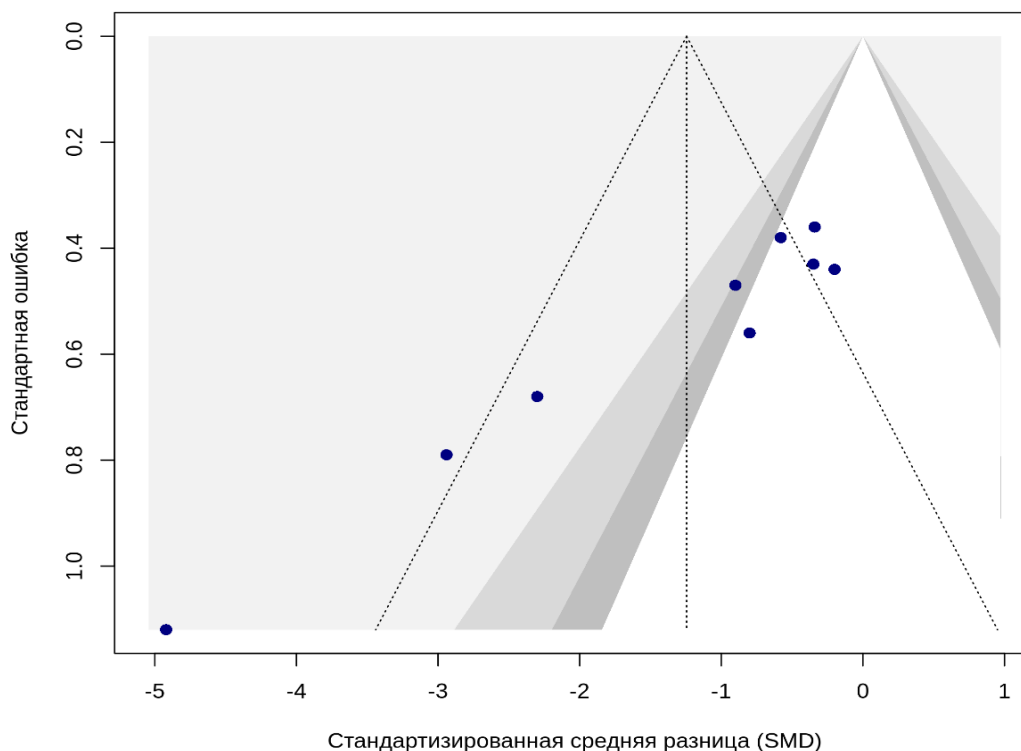


Рисунок 18 – Воронкообразный график для оценки публикационной ошибки по показателю мышечной боли (VAS) через 24 часа после нагрузки

Таким образом, наблюдаемая асимметрия объясняется не систематической публикационной ошибкой, а клинической гетерогенностью – различным уровнем подготовленности участников, что закономерно приводит к разной величине эффекта компрессионной одежды.

Публикационная ошибка для уровня креатинфосфокиназы (КФК). Визуальный анализ продемонстрировал симметричное распределение исследований относительно объединенного эффекта. Все семь включенных исследований равномерно расположились по обе стороны от вертикальной линии общего эффекта, формируя характерную воронкообразную форму. Большинство исследований сгруппированы в верхней части графика (меньшая стандартная ошибка, более высокая точность), что ожидаемо для мета-анализа с преобладанием исследований среднего размера. Метод "обрезки и заполнения" (Trim and Fill) не выявил гипотетически недостающих исследований ($k_0 = 0$), а скорректированный объединенный эффект не отличался от наблюдаемого (рисунок 19)

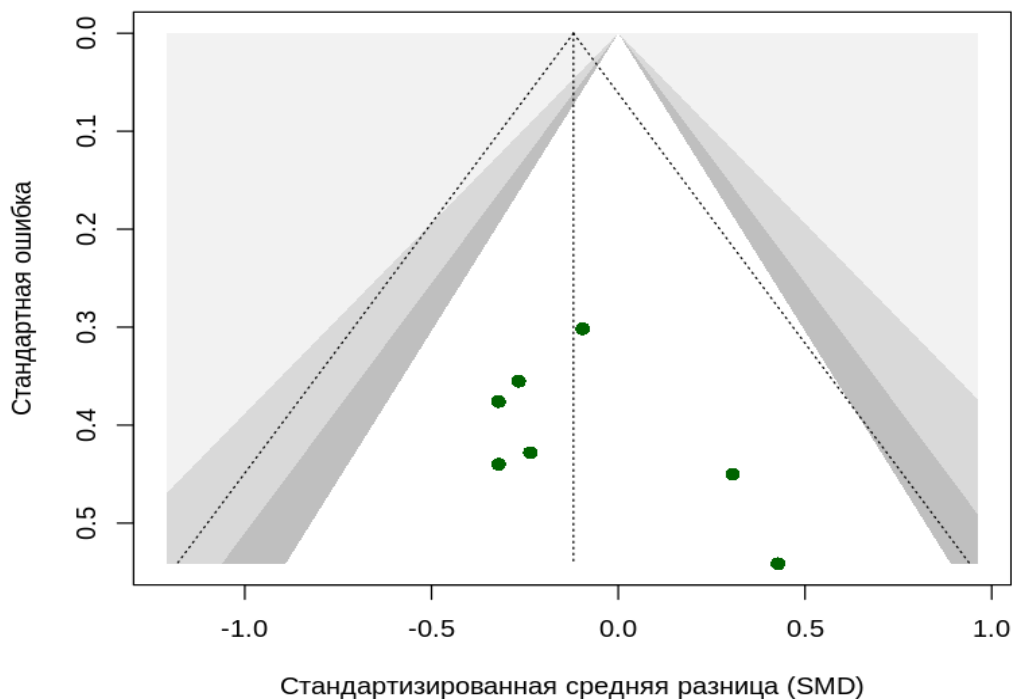


Рисунок 19 – Воронкообразный график для оценки публикационной ошибки по уровню креатинфосфокиназы (КФК) через 24 часа после нагрузки

Публикационная ошибка для высоты вертикального прыжка (СМЖ). Визуальный анализ воронкообразного графика для вертикального прыжка (рисунок 20) продемонстрировал симметричное распределение пяти исследований относительно объединенного эффекта.

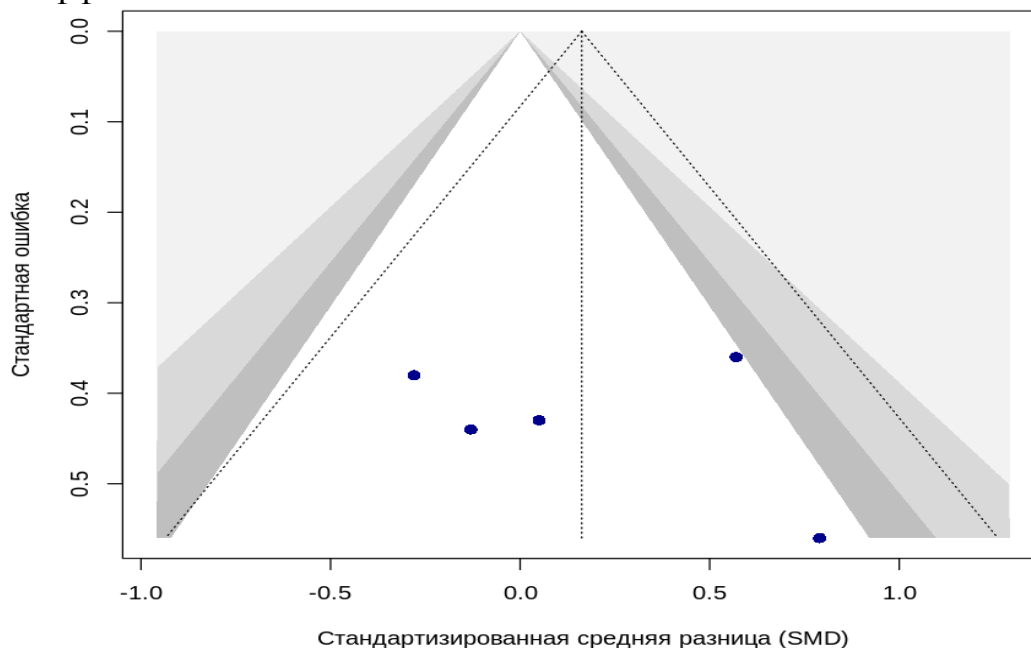


Рисунок 20 – Воронкообразный график для оценки публикационной ошибки по показателю вертикального прыжка (СМЖ) через 24 часа после нагрузки

Тест Эггера не выявил статистически значимой асимметрии ($p = 0,63$), а метод Trim and Fill не показал недостающих исследований ($k0 = 0$). Таким образом, признаки систематической публикационной ошибки для показателя вертикального прыжка отсутствуют, а полученные результаты могут считаться надежными.

Обсуждение. Проведенный систематический обзор и мета-анализ показал, что компрессионная одежда оказывает значимое влияние на снижение мышечной боли (SMD = -1,24; p = 0,003) через 24 часа после нагрузки, однако не влияет на уровень КФК (SMD = -0,12; p = 0,24) и восстановление вертикального прыжка (SMD = 0,16; p = 0,42). Полученные результаты согласуются с данными Li et al. [7] о положительном влиянии компрессии на субъективные показатели восстановления, но расходятся с выводами Négyesi et al. [8], не обнаружившими значимых эффектов. Это расхождение может быть объяснено включением в настоящий анализ исследований с нетренированными лицами, которые демонстрируют максимальный эффект (SMD = -3,16), а также учетом модераторов (давление, время ношения, тип нагрузки).

Анализ подгрупп выявил, что наибольший эффект наблюдается при давлении 15–25 мм рт. ст. (SMD = -0,65) и длительности ношения 12–24 ч (SMD = -0,59). Давление ниже 15 мм рт.ст. оказалось недостаточным для клинически значимого снижения боли. Высокая гетерогенность в подгруппе нетренированных лиц ($I^2 = 50\%$) и при высоком давлении ($I^2 = 93,1\%$) указывает на необходимость дальнейших исследований с четкими протоколами.

Отсутствие эффекта на КФК и СМЖ может свидетельствовать о том, что компрессия влияет преимущественно на субъективные ощущения и, возможно, на воспалительный компонент, не затрагивая непосредственно степень миоцитолита или взрывную силу. Это подчеркивает важность комплексной оценки восстановления, включающей как субъективные, так и объективные показатели.

Ограничения исследования. Настоящий мета-анализ имеет ряд ограничений, которые следует учитывать при интерпретации результатов.

Неоднородность протоколов компрессии. Включенные исследования различались по типу компрессионных изделий, продолжительности ношения (от 4 до 72 ч) и величине давления (от 8 до 35 мм рт. ст.). Часть исследований не содержала данных о давлении, что ограничило возможность полного дозового анализа.

Использование компрессии во время нагрузки. В двух исследованиях [26; 27] компрессия надевалась до начала нагрузки и использовалась как во время, так и после нее. Хотя анализ чувствительности показал устойчивость результатов, исключение этих исследований снижало общий эффект VAS с -1,24 до -0,89, что указывает на потенциальное завышение эффекта за счет профилактического действия компрессии.

Гетерогенность протоколов нагрузки. Различия в типах физической нагрузки (плиометрика, спортивно-специфические нагрузки, силовые тренировки) могли повлиять на величину эффекта. Особенно высокая гетерогенность наблюдалась в подгруппе ударных нагрузок ($I^2 = 84,9\%$), что связано с включением как элитных атлетов, так и нетренированных лиц.

Ограниченное число исследований для вторичных исходов. Мета-анализ по СМЖ включал только 5 исследований, а по КФК – 7, что ограничивает надежность выводов о функциональном и биохимическом восстановлении. Широкие доверительные интервалы и умеренная гетерогенность ($I^2 = 42\%$ для СМЖ) указывают на необходимость дополнительных исследований с большими выборками.

Качество первичных исследований. Одно исследование [22] было оценено как имеющее высокий риск смещения из-за отсутствия ослепления и данных о давлении. Исследования Struhár [26] и Brown F. (2) [21] имели средний риск смещения. Анализ

чувствительности показал, что исключение этих исследований не влияет на общие выводы.

Публикационная ошибка. Хотя тест Эггера не выявил значимой асимметрии для VAS ($p = 0,08$), визуальный анализ воронкообразного графика показал некоторую асимметрию за счет исследований Хуе [27] с очень большими эффектами у нетренированных лиц. Для КФК и СМЖ признаки публикационной ошибки отсутствовали.

Языковые ограничения. Включение только исследований на английском и русском языках могло привести к исключению релевантных работ на других языках.

Заключение. Таким образом, несмотря на перечисленные ограничения, проведенный анализ включает комплексные методы оценки и минимизации их влияния (анализ чувствительности, мета-регрессия, анализ подгрупп, оценка публикационной ошибки). Полученные результаты могут быть использованы для разработки практических рекомендаций, однако требуют подтверждения в хорошо спланированных рандомизированных контролируемых исследованиях со стандартизированными протоколами компрессии и оценки исходов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Braun-Trocchio R, Graybeal AJ, Kreutzer A, Warfield E, Renteria J, Harrison K, Williams A, Moss K, Shah M. Recovery Strategies in Endurance Athletes. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2022 Feb 13;7(1):22. doi: 10.3390/jfmk7010022.
2. Xiao F, Kabachkova AV, Jiao L, Zhao H, Kapilevich LV. Effects of cold water immersion after exercise on fatigue recovery and exercise performance--meta analysis. *Front Physiol.* 2023 Jan 20;14:1006512. doi: 10.3389/fphys.2023.1006512.
3. Dupuy O, Douzi W, Theurot D, et al. An evidence-based approach for choosing post-exercise recovery techniques to reduce markers of muscle damage, soreness, fatigue, and inflammation: a systematic review with meta-analysis. *Front Physiol.* 2018;9:403.
4. Wang Y, Li S, Zhang Y, Chen Y, Yan F, Han L, Ma Y. Heat and cold therapy reduce pain in patients with delayed onset muscle soreness: A systematic review and meta-analysis of 32 randomized controlled trials. *Phys Ther Sport.* 2021 Mar;48:177-187. doi: 10.1016/j.ptsp.2021.01.004.
5. Hill J, Howatson G, van Someren K, Leeder J, Pedlar C. Compression garments and recovery from exercise-induced muscle damage: a meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2014 Sep;48(18):1340-6. doi: 10.1136/bjsports-2013-092456.
6. Brown F, Gissane C, Howatson G, van Someren K, Pedlar C, Hill J. Compression Garments and Recovery from Exercise: A Meta-Analysis. *Sports Med.* 2017 Nov;47(11):2245-2267. doi: 10.1007/s40279-017-0728-9.
7. Li X, Su H, Du L, Li G, Lv Y, Liu X, Feng L, Yu L. Effects of Compression Garments on Muscle Strength and Power Recovery Post-Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Life (Basel).* 2025 Mar 11;15(3):438. doi: 10.3390/life15030438.
8. Négyesi J, Hortobágyi T, Hill J, Granacher U, Nagatomi R. Can Compression Garments Reduce the Deleterious Effects of Physical Exercise on Muscle Strength? A Systematic Review and Meta-Analyses. *Sports Med.* 2022 Sep;52(9):2159-2175. doi: 10.1007/s40279-022-01681-4.

9. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021 Mar 29;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71
10. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2019;366:14898. doi:10.1136/bmj.14898
11. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
12. Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, et al. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 6.3. Cochrane; 2022.
13. Viechtbauer W. Bias and efficiency of meta-analytic variance estimators in the random-effects model. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*. 2005;30(3):261-293.
14. Borenstein M, Hedges LV, Higgins JPT, Rothstein HR. *Introduction to Meta-Analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons; 2009.
15. Viechtbauer W, Cheung MWL. Outlier and influence diagnostics for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*. 2010;1(2):112-125.
16. Sterne JAC, Egger M. Funnel plots for detecting bias in meta-analysis: guidelines on choice of axis. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2001;54(10):1046-1055.
17. Egger M, Smith GD, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*. 1997;315(7109):629-634.
18. Begg CB, Mazumdar M. Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*. 1994;50(4):1088-1101.
19. Duval S, Tweedie R. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*. 2000;56(2):455-463.
20. Brown F, et al. Custom-fitted compression garments enhance recovery from muscle damage in rugby players. *J Strength Cond Res*. 2022;36(8):2125-2132.
21. Brown F, et al. The effect of custom-fitted compression garments worn overnight for recovery from judo training in elite athletes. *Eur J Sport Sci*. 2022;22(4):521-529.
22. Chan V, Duffield R, Watsford M. The effects of compression garments on performance of prolonged manual labour exercise and recovery. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2016;41(2):125-132.
23. Govus A, et al. Commercially available compression garments or electrical stimulation do not enhance recovery following a sprint competition in elite cross-country skiers. *Eur J Sport Sci*. 2018;18(10):1299-1308.
24. Hamlin M, et al. Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players. *J Strength Cond Res*. 2012;26(11):2975-2982.
25. O'Riordan S, Bishop D, Halson S, Broatch J. Compression-induced improvements in post-exercise recovery are associated with enhanced blood flow, and are not due to the placebo effect. *Sci Rep*. 2022;12(1):16762.
26. Struhár I, Kunstat M, Kralova D. Effect of compression garments on physiological responses after uphill running. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018;58(1-2):120-127.
27. Xue X, et al. Effect of Kinesio tape and Compression sleeves on delayed onset of muscle soreness: a single-blinded randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):392.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сверчков Вадим Владимирович – мл. научный сотрудник, НИИ олимпийского спорта, Уральского государственного университета физической культуры (454080, Россия, г. Челябинск, ул. Труда, 168). E-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru

Быков Евгений Витальевич – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры спортивной медицины и физической реабилитации; директор НИИ олимпийского спорта. Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия. E-mail: bev58@yandex.ru

Мальшев Александр Евгеньевич – студент кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия.

Трифонов Илья Евгеньевич – студент кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия.

Будяк Никита Сергеевич – студент кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vadim V. Sverchkov – Junior Researcher, Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru

Evgenii V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation. Director of the Olympic Sports Research Institute. Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia. E-mail: bev58@yandex.ru

Alexander E. Malyshev – student of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia.

Ilya E. Trifonov – student of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia.

Nikita S. Budyak – student of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia.