Nutrients

Статья

Длительный прием коллагеновых пептидов и силовой тренинг влияют на состав тела у мужчин, занимающихся спортом в качестве хобби

Marius Kirmse[1,*], Vanessa Oertzen-Hagemann[1], Markus de Marées[1], Wilhelm Bloch[2] и Petra Platen[1]

[1] Кафедра спортивной медицины и спортивного питания, Рурский университет в Бохуме, Гезундхайтскампус Норд 10, 44801 Бохум, Германия; vanessa.oertzen-hagemann@rub.de (V.O.-H.); markus.demarees@rub.de (M.d.M.); petra.platen@rub.de (P.P.)
[2] Кафедра молекулярной и клеточной спортивной медицины, Немецкий спортивный университет Кельна, Ам Шпортпарк Мюнгерсдорф 6, 50933 Кельн, Германия; w.bloch@dshs-koeln.de
***** Корреспонденция: marius.kirmse@rub.de; тел.: +49-0234/32-22394

Получено: 10 апреля 2019 г.; принято: 21 мая 2019 г.; опубликовано: 23 мая 2019 г.

Аннотация: Нашей целью было определить влияние длительного приема коллагеновых пептидов (КП) и занятий силовым тренингом (СТР) на состав тела, силу и площадь поперечного сечения мышечных волокон (fCSA) у мужчин, занимающихся спортом в качестве хобби. Пятьдесят семь молодых мужчин случайным образом в двойном слепом режиме распределили в группы для получения коллагеновых пептидов (КОЛ, 15 г/сут) или плацебо (ПЛА). До и после проведения вмешательства (СТР) измеряли силу, выполняли биоимпедансный анализ [состава тела] и биопсию мышц. В ходе вмешательства (СТР) заполняли дневники питания. Группы тренировались три раза в неделю на протяжении 12 недель. При анализе исходных параметров между группами различий не выявлено, при этом физическая нагрузка и питание в группах были схожими. Приём КОЛ показал значительное увеличение безжировой массы тела (FFM) по сравнению с группой плацебо ($p < 0,05$). Жировая масса тела (BFM) в группе КОЛ не изменилась, однако в группе ПЛА наблюдалось значительное увеличение BFM. Обе группы показали значительное увеличение силы по всем параметрам. Наблюдалась тенденция к несколько более выраженному эффекту в группе КОЛ. Показатель fCSA мышечных волокон II типа значительно увеличился в обеих группах, при этом различий между группами не наблюдалось. Нам впервые удалось продемонстрировать улучшение состава тела у здоровых мужчин, занимающихся спортом в качестве хобби, после длительного приема КП в сочетании с занятиями силовым тренингом. Поскольку наблюдавшееся увеличение FFM не сопровождалось различиями по параметру fCSA (т.е. гипертрофии мышц) между группами, мы предполагаем усиление адаптации пассивной соединительной ткани в группе КОЛ благодаря приему КП.

Ключевые слова: гидролизованные коллагеновые пептиды; прием пищевых добавок; силовой тренинг; площадь поперечного сечения; мужчины, занимающиеся спортом в качестве хобби

1. Введение

Использование различных протеиновых добавок в сочетании с физическими упражнениями, такими как силовые тренировки (РЕТ), хорошо зарекомендовало себя как у профессиональных спортсменов, так и у спортсменов-любителей.. Широко известно, что дополнительное потребление белка способствует усилению биосинтеза мышечных белков (БМБ) [1], увеличению площади поперечного сечения мышечных волокон (fCSA) и силы [2,3], а также позволяет улучшить состав тела за счет увеличения безжировой массы (FFM) и уменьшения жировой массы тела (BFM) [2]. Кроме того, благоприятное воздействие на восстановление после тренировок могут оказать различные стратегии потребления белка. Здесь подразумевается, что дополнительный прием белка способствует восстановлению мышц, укреплению иммунной системы и улучшению ремоделирования мышц [4]. Эти эффекты преимущественно описаны при приеме незаменимых / разветвленных аминокислот, таких как лейцин, который связан с улучшением метаболизма в мышечных клетках в результате активации пути мишени рапамицина в клетках млекопитающих (mTOR) [5].

Как и сократительные мышечные волокна, пассивные ткани также способны адаптироваться при воздействии на них механической нагрузки [6–8]. Клетки мышц и сухожилий включены в соединительную и поддерживающую ткани, т.е. во внеклеточный матрикс (ВКМ), который может быть важным фактором для развития сократительной силы [9]. Регуляторные механизмы биосинтеза белков пассивных тканей, которые активируются при растяжении тканей или при мышечной активности, хорошо описаны Kjær [10], однако

остаются некоторые неясные моменты. Неизвестно, способны ли какие-либо специфические белковые добавки улучшить адаптацию этих пассивных тканей. Основным структурным белком соединительной ткани является коллаген [4]. Приблизительно 25–30 % общей белковой массы тела человека составляет коллаген [11], при этом он встречается во всех областях организма в тканях внеклеточного матрикса [12]. Ранее описаны такие благоприятные эффекты приема коллагеновых пептидов (КП), как заживление ран, уменьшение выраженности боли в суставах и сухожилиях и увеличение субъективной стабильности голеностопного сустава у спортсменов и пациентов с травмой [13–18]. Очень вероятно, что прием КП в сочетании с проведением реабилитации с включением специальных упражнений, будет способствовать восстановлению [19]. Однако информация о благоприятном воздействии на состав тела и силу при приеме КП у здоровых взрослых людей, регулярно занимающихся силовым тренингом, отсутствует. До настоящего времени не уделялось внимания потенциальной способности специфических коллагеновых добавок, в сочетании с силовым тренингом, увеличивать объем сократительной мышечной ткани, что, вероятно, обусловлено низким содержанием лейцина [в таких добавках] [11].

Имеются данные о немедленном усилении синтеза коллагена при приеме КП после механических нагрузок в виде плиометрических упражнений для тренировки нижней части тела [20]. Однако, мало что известно об эффектах приема КП на фоне длительного силового тренинга. В таком контексте их влияние на силу и состав тела изучалось лишь в нескольких исследованиях. Считается, что решающее значение для восстановления мышц и гипертрофии мышечных волокон имеют сателлитоциты сократительных мышечных волокон, которые могут взаимодействовать с клетками-предшественниками миоцитов в окружающем ВКМ [21]. В рамках этого клеточного взаимодействия может стимулироваться либо синтез ВКМ сателлитоцитами [21], либо активация сателлитоцитов фибробластами после повреждения мышц [22,23]. В этой связи более качественный состав ВКМ, в т.ч. большее количество фибробластов, может иметь регулирующее влияние на активность сателлитоцитов и, следовательно, на восстановление мышц и гипертрофию мышечных волокон. Однако это предположение основано на исследованиях на моделях *in vitro*. Остается вопрос о том, может ли длительный прием КП в сочетании с силовым тренингом приводить к увеличению количества клеток пассивной и соединительной тканей и, более того, влияет ли такой прием КП на размер сократительных мышечных волокон у здоровых людей.

Zdzieblik et al. [11] были первыми исследователями, которые показали положительное влияние приема КП в сочетании с силовым тренингом на [мышечную] силу, состав тела (увеличение FFM) и моторный контроль у пожилых лиц с саркопенией по сравнению с плацебо. Эти результаты получены в рамках применения неинвазивных методов, однако информация о компонентах FFM не представлена. Поэтому остается неясным, обусловлено ли увеличение FFM и, следовательно, мышечной силы увеличением массы сократительных клеток, объема соединительной ткани или обоих.

Таким образом, целью настоящего исследования было проведение проверки результатов, полученных Zdzieblik et al. [11], на более молодой популяции участников, имеющих опыт занятий силовым тренингом. Мы также планировали собрать новую информацию о компонентах FFM путем проведения биопсии мышц для количественного определения гипертрофии изолированных сократительных мышечных волокон.

2. Материалы и методы

Дизайн исследования был разработан таким образом, чтобы можно было оценить влияние приема гидролизованных КП в сочетании с 12-недельной программой силового тренинга на силу, состав тела и характеристики мышечных волокон. Поэтому, исследование представляло собой рандомизированное, двойное слепое, плацебо-контролируемое испытание. Все включенные в исследование участники завершили период тренинга с минимальным количеством тренировок равным 32, а также прошли процедуры обследования до и после [прохождения тренинга]. В 1-ый день обследования участники посетили лабораторию для оценки состава тела с помощью биоимпедансного анализа, толщины мышц методом ультразвукового измерения и максимальной динамической силы методом одного максимального повторения (1RM) в четырех упражнениях со штангой. Через три дня, во 2-ой день обследования, проведено определение максимального произвольного изометрического сокращения (MViC) мышц в тесте разгибания ноги (Leg-Ex) с одной стороны на динамометре. На 3-й день обследования проведена биопсия для забора образцов мышечной ткани (рис. 1). Дизайн исследования включал адаптивный план [24]. Данные и возможные различия между группами учитывали в первой фазе (фаза 1) для определения размера выборки во второй фазе (фаза 2). Результаты и данные, полученные в обеих фазах, объединяли. Таким образом, в

рамках первой фазы исследования в статистический анализ включено 25 участников, успешно завершивших исследование (возраст: 24 ± 3 года; рост: 1,85 ± 0,05 м; масса тела: 79,7 ± 5,6 кг). Параметр Leg-Ex MViC использовали в качестве прогностического фактора потенциальных различий силы между группами для расчета размера выборки для второй фазы с использованием программы G-Power [25]. При уровне значимости 0,05 и предполагаемой статистической мощности 0,8 размер выборки должен был составлять 28 участников на группу. Предполагая, что при идентичном дизайне исследования можно ожидать аналогичный размер эффекта, участники, которые уже были включены в исследование, вычитались из рассчитанного значения (28 участников). Поэтому, для фазы 2 исследования рассчитан размер выборки равный 16 участников на группу. Всего набрано 40 участников, из них 32 успешно завершили исследование (возраст: 24 ± 2 года; рост: 1,83 ± 0,07 м; масса тела: 78,0 ± 8,5 кг). В обеих фазах применялась одна и та же методология и основные факторы, включая исследователей, обучение и испытательное оборудование. Процесс обследования в 1-й и 2-й дни был идентичным как до, так и после проведения исследуемой процедуры (тренинг), а также в фазе 1 и фазе 2. Биопсию мышц проводили только до и после исследуемой процедуры в фазе 1 и не повторяли в фазе 2.

Рисунок 1. Обзор исследуемого вмешательства: ДО — день обследования; 1RM — метод одного максимального повторения; MViC — максимальное произвольное изометрическое сокращение; * — биопсию мышц выполняли только в фазе 1.

2.1 Участники

В настоящее исследование было набрано шестьдесят восемь участников. Однако только 57 из них соответствовали критериям включения (прохождение обследования до и после проведения программы тренинга, отсутствие травм в ходе проведения вмешательства, посещение как минимум 32 тренировок) и включены в статистический анализ (среднее ± СО: возраст: 24 ± 3 года; рост: 1,84 ± 0,06 м; масса тела: 78,8 ± 7,4 кг). У участников была средняя степень физической подготовки (бессистемные, постоянные силовые тренировки и отсутствие приема белковых добавок в течение 6 месяцев до начала программы тренинга в рамках исследования). В исследование их включали, если они могли выполнить как минимум одно приседание со штангой массой 100 % от массы тела в правильной технике. Участники случайным образом и в двойном слепом режиме распределялись в группы для получения добавки с коллагеном (КОЛ, n = 29; возраст: 24 ± 2 года, рост: 1,84 ± 0,07 м, масса тела: 79,3 ± 8,4 кг) или плацебо (контрольная группа) (ПЛА, n = 28; возраст: 24 ± 3 года, рост: 1,84 ± 0,06 м, масса тела: 78,2 ± 6,3 кг). Заранее всех участников в устной и письменной форме проинформировали о процедуре и цели проведения исследования, а также о возможных рисках. Участников проинструктировали о необходимости придерживаться обычного образа жизни, включая занятия спортом и обычный режим питания, на протяжении всего исследования. Исследование

проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации; протокол исследования был одобрен местным Этическим комитетом организации, т.е. Кафедрой спортивных наук Рурского университета в Бохуме (EKS V 01/2016).

Исследование было одобрено местным Этическим комитетом организации, т.е. Кафедрой спортивных наук Рурского университета в Бохуме, и проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

2.2 План силового тренинга и расчет нагрузки

Силовой тренинг (СТР) для всех групп мышц со штангой проводился в рамках 12-недельной программы тренировок. План, который включал три тренировки в неделю (в общем 36 тренировок), выполнен всеми участниками. В первую неделю тренинга участники трижды посетили нашу лабораторию для получения первых навыков прохождения тренировки. Нагрузка не превышала 50 % от 1RM в каждом подходе и упражнении. Таким образом участников ознакомили с процедурой тренировок. Кроме того, в течение первой недели не разрешалось заниматься другими физическими упражнениями, поэтому все участники начали занятия по 12-недельной программе тренировок с относительно одинаковой предварительной нагрузкой. После ознакомления с процедурой тренировок участники начали тренироваться с 70 %-й нагрузкой и принимать добавку (начиная с 4-й тренировки). Во время каждой тренировки участники выполняли стандартную разминку без отягощений, а затем упражнения со штангой: присед (SQ), жим лежа (BP), становую тягу (DL) и тягу в наклоне (BR), а также дополнительное упражнение разгибания ноги в коленном суставе (KE) на тренажере. Порядок выполнения упражнений в рамках каждой тренировки определялся случайным образом. Каждое упражнение начиналось с разминки, которая включала 10 повторений с 50 %-й нагрузкой (от 1RM), а затем следовало 3 подхода по 10 повторений с 70 %-й нагрузкой от определенного 1RM. Между подходами давалось 2 минуты отдыха; между упражнениями также давалось 2 минуты для смены весов и положения. План тренинга разработан таким образом, чтобы достигалось утомление нагружаемой области тела у каждого участника в каждом упражнении и соответствующей группы мышц в конце каждого подхода, т.е. 70 % от 1RM. Таким образом, если все повторения успешно выполнялись в правильной технике, то тренировочный вес систематически увеличивали на 2,5 кг в упражнениях BP, BR и KE и на 5,0 кг в упражнениях SQ и DL. Если техника выполнения упражнения была неправильной, то вес не увеличивали. В обязанности исследователя входило предотвращение негативного влияния на здоровье путем субъективной оценки. Если второй подход в рамках тренировки (70 % от 1RM) не выполнялся успешно, то тренировочный вес снижали в установленном порядке в каждом упражнении. Если возникала боль во время или непосредственно после выполнения упражнения, то тренировочный вес при следующей тренировке уменьшали. Участники исключались из исследования, если они приняли участие менее чем в 32 тренировках. Нагрузка определялась как произведение веса [снаряда] и количества повторений в каждом упражнении и в каждый тренировочный день, соответственно [26]. Для анализа индивидуальных различий нагрузки в течение периода тренинга по данным 4-й и 32-й тренировок рассчитывалась исходная и итоговая нагрузка в каждом упражнении.

2.3 Прием белковых добавок

В течение 12-недельного периода тренировок участники ежедневно получали пищевые добавки в двойном слепом режиме. Упаковки содержали 15 г коллагена (КОЛ) или 15 г плацебо (ПЛА) в форме порошка. Добавку разводили минимум в 250 мл воды и принимали непосредственно после занятия в тренировочные дни. В течение следующего часа другой пищи или напитков не употреблялось, за исключением воды. В дни без тренировок участники должны были принимать добавку приблизительно в то же время, т.е. примерно через 24 часа после предыдущего приема. Добавка с КОЛ (марка Bodybalance™ [11]) была предоставлена компанией GELITA AG (Эбербах, Германия). Плацебо включало диоксид кремния, не обладающий энергетической ценностью (марка Sipernat 350, компания Evonik Industries, Эссен, Германия).

2.4 Учет питания

Для учета привычек питания и получения представления об общей энергетической ценности потребляемой пищи и содержании макронутриентов в середине программы тренировок был введен дневник питания, заполняемый участниками. Этот дневник включал два будних дня и один выходной день. Участники должны были указать точный вес потребляемой пищи. На основе этой информации рассчитано общее потребление калорий, а также потребление белка, углеводов, жиров и относительное потребление белка за эти три дня. Участникам было рекомендовано придерживаться их обычного режима питания. Дневники

питания проанализированы с использованием программы PRODI® 6.8 (компания Nutri-Science GmbH, Фрайбург, Германия).

2.5 Измерение состава тела

В первый день обследования до и после проведения тренинга выполняли биоимпедансный анализ состава тела (БИА; система InBody 770, компания JP Global Markets GmbH, Эшборн, Германия) для определения общей массы тела (BW), безжировой массы (FFM) и жировой массы (BFM) тела [27,28]. После ночного голодания участники посетили лабораторию. Участников предупредили, что им не следует заниматься спортом в течение 48 ч до дня обследования. Измерение состава тела проводили в стандартных условиях дважды в каждый день обследования, а затем для статистического анализа рассчитывали среднее значение двух измерений.

2.6 Ультразвуковое и антропометрическое измерение

Толщину мышц измеряли непосредственно после измерения состава тела с использованием ультразвуковой системы в B-режиме (марка LS128 CEXT-1Z, компания UAB Telemed, Вильнюс, Литва). Положение при визуализации определялось по перпендикулярной линии, проходящей посередине линии, соединяющей передневерхнюю ость подвздошной кости с коленной чашечкой [29]. Для оценки толщины прямой мышцы бедра (Rec) и промежуточной широкой мышцы бедра (Int) в первом положении и толщины латеральной широкой мышцы бедра (Lat) во втором положении сделано по три изображения в двух положениях. Проведено изучение для визуализации средней части мышечного брюшка и построения вертикальной линии от кости вверх через середину изображения. Для получения нового изображения ультразвуковой зонд полностью убирали [с поверхности тела]. Давление на ткани и вертикальность расположения [зонда] по отношению к коже контролировали вручную перед получением отдельного изображения. Затем все три изображения в каждом из двух положений измерялись с использованием компьютерной программы Image-J (Национальный институт психического здоровья, Бетесда, Роквилл, Мэриленд, США) и вертикальной линии, проведенной радиально к кости, в качестве вспомогательной линии. Используя эту линию в качестве ориентира, измеряли только [толщину] тканей между апоневрозами (толщину которых в расчетах не учитывали). В статистический анализ включали среднее значение толщины мышц. Точку проведения указанной перпендикулярной линии также использовали для измерения окружности ноги (LC) с помощью стандартной сантиметровой ленты.

2.7 Измерение силы

Одно максимальное повторение (1RM) измеряли методом, описанным Kreamer et al. [30], для получения показателя 1RM при выполнении упражнений SQ, BP, DL и BR. Для этого проводили разогревающий подход из 10 повторений с 50 %-й нагрузкой от расчетного 1RM, а затем — еще один подход из 5 повторений с 80 %-й нагрузкой от расчетного 1RM. Далее физическую нагрузку систематически увеличивали через каждые 3–5 испытаний, между которыми давалось по 3–4 мин. на отдых, для определения 1RM. Полученный показатель 1RM считали действительным, если в контролируемых условиях и без посторонней помощи упражнения выполнялись в правильной технике, которая предварительно объяснялась. Степень размаха движений в суставе на протяжении каждого испытания во время обследования и тренировок контролировали одни и те же исследователи. Порядок выполнения упражнений регистрировали при обследовании после завершения тренинга. Затем всех участников ознакомили с процедурой определения максимального произвольного изометрического сокращения мышц в тесте разгибания ноги (Leg-ex MViC). Через три дня после ознакомления ранее представленную процедуру определения MViC проводили повторно, на 2-й день обследования. Участников проинформировали о необходимости избегать употребления кофеина и алкоголя в течение 12 ч и участия в изнуряющих физических занятиях в течение 48 ч до определения MViC. Выполняли стандартную разминку, которая включала мобилизацию нижних конечностей, бег в медленном темпе и выпады без отягощения. Затем трижды измеряли MViC в тесте разгибания правой ноги со сгибанием колена под углом 60° на динамометре (марка Isomed 2000, компания D&R GmbH, Хемау, Германия); между измерениями давали отдых 3 мин. В статистический анализ включали лучшее измерение. Участники проходили такую же процедуру измерения динамической и изометрической силы через 12 недель тренинга и приема добавки.

2.8 Биопсия мышц и отбор образцов венозной крови

Образцы крови в рамках фазы 1 отбирали на 3-й день после [завершения] тренинга. Поскольку в рамках фазы 2 не было 3-го дня обследования, образцы крови в этой фазе отбирали в конце периода тренинга.

Биопсию мышц проводили только в рамках фазы 1. Использованные методы описаны далее. После получения стандартного завтрака пациентам проводили чрескожную пункционную биопсию латеральной широкой мышцы бедра правой ноги под местной анестезией (препарат Ксилоцитин (Xylocitin®) 2% с эпинефрином, компания Mibe GmbH, Брехна, Германия) с использованием иглы Bergstrøm 5 мм по описанной ранее методике [31]. Незамедлительно после забора мышечной ткани весь образец взвешивали и отделяли цельный кусок ткани массой приблизительно 30 мг для гистохимического анализа. Сразу после этого образец погружали в соединение Tissue-Tek® O.C.T.™ (компания Sakura Finetek Europe B.V., Альфен ан ден Рейн, Нидерланды) и замораживали в охлажденном жидком азоте. После этого участники проводили стандартную тренировку, описанную ранее, с нагрузкой 70 % от определенного 1RM и принимали добавку после тренировки. Через два часа после тренировки и приема добавки отбирали второй образец крови для оценки способности к использованию типичных аминокислот, входящих в состав коллагена, например, гидроксипролина [32]. После этого проводили вторую биопсию этой же мышцы, этой же ноги в точке на 3 см проксимальнее точки предыдущей биопсии для анализа краткосрочных эффектов приема КП и физической нагрузки. Эти данные будут представлены в дальнейших публикациях. Процедура была аналогичной при обследовании до и после завершения тренинга. В настоящем исследовании в анализ распределения и толщины мышечных волокон включены только данные первой биопсии (до тренировки).

2.9 Иммуногистохимическое окрашивание скелетных мышц

Для анализа распределения мышечных волокон и площади поперечного сечения сократительных мышечных волокон (fCSA) из образцов мышечной ткани, отобранных в фазе 1, выполняли последовательные срезы толщиной 7 мкм с помощью микротома для замороженной ткани (марка Leica CM 3050 S, компания Leica Biosystems, Нусслох, Германия). Для типизации мышечных волокон криосрезы окрашивали с использованием иммуногистохимической методики. Если описывать кратко, то срезы в течение ночи инкубировали с первичными антителами против MHY7 (A4.951, моноклональные, мышиные, компания DSHB, Айова-Сити, штат Айова, США) для визуализации волокон I типа в клетках и ламинина (поликлональные, кроличьи, компания Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США) для визуализации клеточных мембран. Затем вносили козьи антимышиные и козьи антикроличьи вторичные антитела (марка Dako, компания Agilent Pathology Solutions, Санта-Клара, Калифорния, США). После этого добавляли пероксидазу хрена (компания Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США), а через 60 мин. — диаминобензидин (компания Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США). Между всеми этапами криосрезы промывали с использованием трис-буферизированным физраствором (компания Merck KGaA, Дармштадт, Германия). С помощью этого метода мышечные волокна I типа дифференцировали от волокон II типа для получения первоначального представления о распределении волокон и fCSA. Изображения получали при 10-кратном увеличении с использованием светового микроскопа (марка Leica Orthoplan, компания Leica Microsystems GmbH, Вецлар, Германия) и компьютерной программы Irfanview (компания Irfan Skiljan, Винер-Нойштадт, Австрия). Процент соответствующего типа волокна определяется как общее количество волокон одного типа, поделенное на количество всех волокон на данном криосрезе и умноженное на 100. Количество и процентное содержание волокон подсчитаны по каждому участнику и срезу. Для определения fCSA каждое мышечное волокно отслеживали вдоль линии окрашенного ламинина. Измеренные периметр и площадь использовали для расчета коэффициента округлости по известной формуле [33]:

$$\text{Округлость} = \text{периметр}2/4\pi \times \text{площадь}$$

В статистический анализ включали только волокна, по которым не превышалось расчетное значение 1,639 (идеальный круг = 1,0; пятиугольник = 1,1639; квадрат = 1,266; равносторонний треугольник = 1,639). Распределение [волокон] и fCSA измеряли с помощью компьютерной программы Image-J (Национальный институт психического здоровья, Бетесда, Роквилл, Мэриленд, США). Все измерения в отношении волокон усредняли по типу волокон, участнику и образцу биопсии.

2.10 Субъективная оценка

Перед каждым обследованием участников просили на визуально-аналоговой шкале (отсроченная болезненность мышц, DOMS) определить наличие мышечной боли, что использовали в качестве прогностического фактора предутомления [34]. Сразу после завершения каждого упражнения и после каждой тренировки регистрировали субъективно ощущаемое физическое напряжение участников с использованием Шкалы субъективной оценки интенсивности нагрузки (CR-10 RPE) [35] для сбора информации о субъективной оценке нагрузки [26].

2.11 Статистический анализ

Все данные анализировали в рамках двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с повторными измерениями (время-группа) с использованием компьютерной программы IBM SPSS Statistics, версия 23 (компания SPSS, Inc., Чикаго, Иллинойс, США). Если дисперсионный анализ выявлял значительный эффект взаимодействия (время-группа: $p \leq 0,05$) или тенденцию [к наличию взаимодействия], то выполняли апостериорный анализ (парный t-критерий и непарный t-критерий для значений до и после [завершения тренинга]) с использованием поправки по методу Бонферрони (до $p \leq 0,0125$). Кроме того, проводили расчет частной эты в квадрате (ηp^2) для определения размера значительных эффектов взаимодействия, а также тенденций к эффекту взаимодействия (время-группа: $p \leq 0,05$). Если дисперсионный анализ выявлял значительный основной эффект (время: $p \leq 0,05$), то разницу между значениями до и после [завершения тренинга] во всей когорте анализировали с использованием парного t-критерия. Уровень статистической значимости: $p \leq 0,05$.

3. Результаты

По причине получения травм в результате иной деятельности или прохождения менее 32 тренировок 11 участников были исключены из исследования. В статистический анализ включено 57 (пятьдесят семь) участников, которые прошли как минимум 32 тренировки. Ввиду дискомфорта отдельных пациентов, например, возникновения острой боли в пояснице в период после обследования, а также по причине отсутствия всей необходимой документации (дневник тренировок или питания), число пациентов, включенных в анализ различных параметров также различается. При исходных измерениях различий между группами по каким-либо измеренным параметрам не выявлено ($p > 0,05$). Далее результаты представляют собой объединенные данные всех включенных участников фазы 1 и 2 исследования. Только в последнем разделе (данные биопсии) представлены данные только фазы 1.

3.1 Нагрузка, ультразвуковое исследование, окружность ноги и субъективная оценка

Ни по одному из параметров, обсуждаемых в этом разделе, не выявлено эффекта взаимодействия с группой (группа-время: $p > 0,05$). Данные по нагрузке в каждом упражнении, толщине каждой мышцы, измеренной с помощью ультразвука, и окружности ноги показали наличие основного эффекта с увеличением каждого параметра во всей когорте при сравнении значений до и после [завершения тренинга] (время: $p < 0,05$; таблица 1). Значительных различий выраженности мышечной боли между группами в дни обследования не выявлено (DOMS, $p > 0,05$). Также, между группами не выявлено различий оценки по шкале RPE ($p > 0,05$) по каждому упражнению в течение периода тренинга.

Таблица 1. Данные о составе тела, ультразвуковом измерении, нагрузке (в период с 4-й до 32-й тренировки, т.е. до и после завершения программы тренинга) и силе во всей когорте и по исследуемым группам до и после завершения 12-недельного периода тренинга и приема коллагеновых пептидов (КОЛ) или плацебо (ПЛА). Дневник питания заполнялся в период 12-недельного тренинга, в течение 3-х дней, при этом по показателям за три дня рассчитаны средние значения. BW — масса тела; BFM — жировая масса тела; FFM — безжировая масса; LC — окружность ноги; Rec — прямая мышца бедра; Int — промежуточная широкая мышца бедра; Lat — латеральная широкая мышца бедра; Н/З — не значительно ($p > 0,05$); * — значительно отличается от значения до завершения тренинга по сравнению со значением после завершения тренинга в соответствующей группе (парный t-критерий, $p \leq 0,05$); § — значительно отличается от значения до завершения тренинга по сравнению со значением после завершения тренинга во всей когорте (ANOVA: основной эффект, $p \leq 0,05$).

	Характеристики	**Вся когорта**			**КОЛ**			**ПЛА**			**ANOVA (время-группа)**	**Непарный t-критерий (после тренинга)**
		n	До	После	n	До	После	n	До	После	Значение *p*	Значение *p*
Состав тела	BW (кг)	57	78,8 ± 7,7	80,5 ± 7,1§	29	79,3 ± 8,4	81,3 ± 8,1*	28	78,2 ± 6,3	79,6 ± 6,0*	Н/З 0,314	-
	BFM (кг)	57	9,0 ± 3,5	9,3 ± 3,5§	29	9,2 ± 3,8	9,2 ± 3,9*	28	8,8 ± 3,2	9,5 ± 3,0*	0,027	Н/З 0,672
	FFM (кг)	57	69,8 ± 6,4	71,1 ± 6,3§	29	70,1 ± 6,7	72,1 ± 6,6*	28	69,4 ± 6,2	70,1 ± 5,9*	0,002	Н/З 0,227
	LC (см)	57	57,2 ± 3,3	58,4 ± 3,0§	29	57,4 ± 3,8	58,7 ± 3,5*	28	57,1 ± 2,7	58,0 ± 2,4*	Н/З 0,386	-
УЗИ	Rec (мм)	56	25,51 ± 3,25	26,08 ± 2,83§	28	25,45 ± 3,42	26,10 ± 3,09	28	25,57 ± 3,15	26,06 ± 2,60	Н/З 0,770	-
	Int (мм)	56	19,10 ± 3,52	20,57 ± 3,42§	28	19,31 ± 3,70	21,21 ± 3,89	28	18,88 ± 3,37	19,92 ± 2,78	Н/З 0,194	-
	Lat (мм)	56	26,36 ± 4,08	28,69 ± 3,96§	28	26,10 ± 3,82	28,75 ± 3,35	28	26,63 ± 4,37	28,62 ± 4,56	Н/З 0,177	-
Нагрузка	Присед (кг)	56	2735 ± 544	3280 ± 429§	29	2861 ± 463	3339 ± 457	27	2599 ± 598	3217 ± 395	Н/З 0,198	-
	Становая тяга (кг)	56	3251 ± 478	3783 ± 550§	29	3338 ± 430	3836 ± 537	27	3158 ± 517	3726 ± 568	Н/З 0,503	-
	Жим лежа (кг)	56	2052 ± 379	2356 ± 360§	29	2069 ± 376	2380 ± 409	27	2034 ± 388	2330 ± 409	Н/З 0,803	-
	Тяга в наклоне (кг)	56	2198 ± 360	2526 ± 347§	29	2177 ± 374	2564 ± 349	27	2177 ± 374	2564 ± 349	Н/З 0,070	-
Сила	Leg-Ex (Нм)	55	266,4 ± 46,5	291,8 ± 54,4§	28	271,5 ± 51,4	299,5 ± 61,6*	27	261,2 ± 41,2	283,7 ± 45,6*	Н/З 0,477	-
	Присед (кг)	53	110,5 ± 14,9	128,4 ± 18,2§	28	110,9 ± 16,5	131,5 ± 21,4*	25	110,1 ± 13,2	124,9 ± 13,4*	Н/З 0,054	Н/З 0,180
	Становая тяга (кг)	54	131,2 ± 17,7	151,6 ± 17,8§	28	132,7 ± 16,2	154,0 ± 18,8*	26	129,6 ± 19,4	148,9 ± 16,6*	Н/З 0,576	-
	Жим лежа (кг)	56	81,8 ± 14,0	94,2 ± 13,0§	28	82,6 ± 14,0	95,4 ± 14,3*	28	81,0 ± 14,2	92,9 ± 11,6*	Н/З 0,474	-
	Тяга в наклоне (кг)	56	88,1 ± 10,2	99,9 ± 10,0§	29	88,5 ± 11,0	100,6 ± 11,1*	27	87,6 ± 9,5	99,1 ± 8,9*	Н/З 0,768	-
Дневник питания	Общая калорийность (кКал/сут)	54	3014 ± 634		27	2958 ± 676		27	3070 ± 597		-	Н/З 0,521
	Углеводы (кКал/сут)	54	1442 ± 367		27	1386 ± 390		27	1498 ± 341		-	Н/З 0,269
	Жиры (кКал/сут)	54	1001 ± 332		27	986 ± 370		27	1016 ± 396		-	Н/З 0,745
	Белки (кКал/сут)	54	570 ± 153		27	585 ± 139		27	556 ± 167		-	Н/З 0,491
	Белки (г/кг/сут)	54	1,77 ± 0,46		27	1,81 ± 0,42		27	1,74 ± 0,50		-	Н/З 0,610

3.2 Состав тела

Значения параметров до и после завершения 12-недельного тренинга (т.е. при обследовании до и после [завершения] тренинга) представлены в таблице 1. В отношении параметра BW показано наличие только основного эффекта (время: $p < 0,001$) без эффекта взаимодействия [с группой] (время-группа: $p = 0,314$), что указывает на увеличение BW во всей когорте. Значительный эффект взаимодействия выявлен в отношении параметра FFM (время-группа: $p = 0,002$, $\eta p^2 = 0,163$). Апостериорный анализ показал отсутствие различий между группами по значениям после [завершения] тренинга ($p = 0,227$). Однако при анализе по группам значительное увеличение FFM после завершения тренинга по сравнению с состоянием до его начала выявлено только в группе КОЛ ($p < 0,001$), при этом статистически значимое увеличение этого параметра в группе ПЛА не наблюдалось ($p = 0,018$). В отношении параметра BFM также выявлено наличие значительного эффекта взаимодействия (время-группа: $p = 0,027$, $\eta p^2 = 0,085$). Апостериорный анализ показал отсутствие различий между группами по значениям после [завершения] тренинга ($p = 0,672$). Кроме того, выявлено значительное увеличение BFM в группе ПЛА ($p = 0,003$), при этом в группе КОЛ этот параметр оставался без изменений ($p = 0,806$) после завершения тренинга по сравнению с состоянием до его начала.

3.3 Измерение силы

Через 12 недель тренинга и приема добавки выявлено наличие основного эффекта в отношении MViC в тесте разгибания ноги в обеих группах (время: $p < 0,001$), что указывает на увеличение силы изометрического сокращения во всей когорте после проведения вмешательства, при этом эффекта взаимодействия не наблюдалось (время-группа: $p = 0,477$). Кроме того, при измерении 1RM показано наличие основного эффекта в отношении увеличения силы с течением времени (время: $p < 0,001$, соответственно), при этом не выявлено наличия эффекта взаимодействия в отношении упражнений DL (время-группа: $p = 0,576$), BP (время-группа: $p = 0,474$) и BR (время-группа: $p = 0,768$). При выполнении упражнения SQ показано наличие основного эффекта в отношении увеличения силы после проведения тренинга и приема добавки (время: $p < 0,001$), а также наблюдалась тенденция к наличию эффекта взаимодействия (время-группа: $p = 0,054$, $\eta p^2 = 0,071$). Апостериорный анализ показал отсутствие различий между группами по значениям при выполнении SQ после завершения тренинга ($p = 0,180$). При применении парного *t*-критерия показано, что в группах КОЛ ($p < 0,001$) и ПЛА ($p < 0.001$) сила увеличилась после завершения тренинга по сравнению с состоянием до его начала при выполнении упражнения SQ. Данные представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

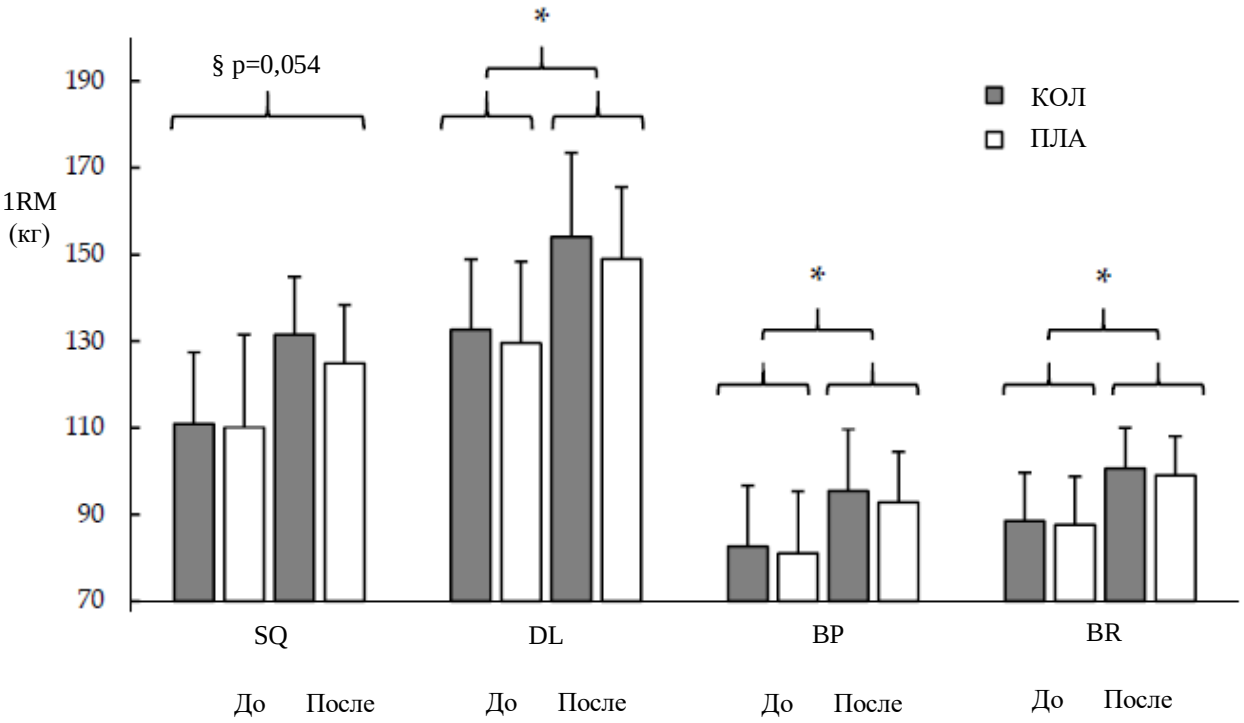

Рисунок 2. Максимальная динамическая сила (1RM) до и после 12-недельного периода тренинга и приема коллагеновых пептидов (КОЛ, серые столбики) или плацебо (ПЛА, белые столбики). SQ — присед; DL — становая тяга; BP — жим лежа; BR — тяга в наклоне. § — тенденция к наличию эффекта взаимодействия (время-группа: $p = 0,054$); * — значительный основной эффект (время: $p < 0,05$). Значения представлены в качестве средних ± СО.

3.4 Учет питания

После анализа дневников питания статистически значимые различия между группами не выявлены ($p > 0,05$; таблица 1). Кроме того, мы проанализировали количество калорий, которое приходилось на белок в день (за исключением ежедневно принимаемой добавки), для выявления различий между группами на исходном уровне. При этом полученные данные показали отсутствие различий между группами, за исключением ежедневного приема добавки (общее количество потребляемого белка, за исключением добавки: КОЛ: 571,5 ± 139,2 кКал/сут; ПЛА: 556,0 ± 167,2 кКал/сут, $p > 0,711$).

3.5 Отбор образцов венозной крови

Анализ содержания гидроксипролина в образцах венозной крови, отобранных при обследовании после завершения тренинга, показал повышение уровней гидроксипролина у каждого участника из группы КОЛ после приема добавки (до приема: 31,1 ± 16,4 мкМоль/л, после приема: 82,0 ± 26,5 мкМоль/л, $p < 0,001$) и отсутствие изменений у участников из группы ПЛА (до приема: 14,7 ± 6,4 мкМоль/л, после приема: 13,8 ± 8,4 мкМоль/л, $p = 0,546$). Мы также выявили значительное различие между группами при изучении образцов крови до приема добавки, что указывает на более высокий уровень гидроксипролина в группе КОЛ до приема добавки при обследовании после завершения тренинга (КОЛ: 31,1 ± 6,4 мл; ПЛА: 14,7 ± 6,4 мл, $p < 0,001$).

3.6 Биопсия мышц

Не каждый образец был цельным куском ткани приемлемого качества, поэтому некоторые образцы невозможно было использовать для подготовки срезов. Таким образом, в гистохимический анализ были включены образцы, полученные от 21 участника фазы 1 (10 из группы КОЛ, 11 из группы ПЛА). В общей сложности измерено 8.453 клетки, данные по которым проанализированы для выявления распределения волокон по типу и fCSA мышечных волокон. Как между группами, так и внутри групп изменений распределения волокон по типу в биоптатах, полученных после завершения тренинга, по сравнению с биоптатами, полученными до начала тренинга, не выявлено (табл. 2). Наблюдалось увеличение fCSA при анализе мышечных волокон II типа (время: $p < 0,001$), а также отмечена тенденция к увеличению fCSA при

анализе мышечных волокон I типа (время: p = 0,099) во всей когорте; эффекта взаимодействия не наблюдалось (табл. 1). Ввиду получения четких и однозначных результатов (отсутствие эффекта взаимодействия между группой и временем) по всем параметрам гистохимического исследования в фазе 1, а также по этическим соображениям, отбор образцов мышечной ткани в фазе 2 не повторяли. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Распределение мышечных волокон (%) и площадь поперечного сечения мышечных волокон (fCSA) до и после завершения 12-недельного периода тренинга и приема коллагеновых пептидов (КОЛ) или плацебо (ПЛА). Н/З — p > 0,05.

Переменная	КОЛ (n = 10)		ПЛА (n = 11)		ANOVA	
	До	После	До	После	Время (*p*)	Время-группа (*p*)
Тип I, %	40 ± 10	37 ± 11	37 ± 13	38 ± 9	Н/З 0,692	Н/З 0,649
Тип II, %	60 ± 10	63 ± 11	63 ± 13	62 ± 9	Н/З 0,692	Н/З 0,649
Тип I, fCSA (мкм^2)	6455 ± 1462	6883 ± 1650	6419 ± 1094	6886 ±1120	0,099	Н/З 0,941
Тип II, fCSA (мкм^2)	7258 ± 1444	8330 ± 2076	7201 ± 1604	8484 ± 1812	<0,001	Н/З 0,865

4. Обсуждение

Насколько нам известно, это первое исследование, проведенное для изучения эффектов приема гидролизованных коллагеновых пептидов в сочетании с силовым тренингом на когорте мужчин, занимающихся спортом в качестве хобби. Целью настоящего исследования было проведение проверки результатов, полученных Zdzieblik et al. [11], на более молодой популяции участников, а также выявление возможных изменений компонентов безжировой массы (FFM) путем изучения площади поперечного сечения мышечных волокон (fCSA) через 12 недель силового тренинга и приема КП. Основным результатом настоящего исследования стало выявление значительного увеличения FFM в группе КОЛ по сравнению с группой ПЛА без различия показателя fCSA, т.е. гипертрофии мышц, между группами. В обеих группах наблюдалось увеличение силы в аналогичной степени, при этом отмечена тенденция к несколько более выраженному увеличению силы при выполнении одного из четырех упражнений со штангой в группе КОЛ.

В группах исследования показана высокая степень однородности, что подтверждается отсутствием различий между группами по какому-либо параметру на исходном уровне, а также при изучении болевых ощущений в мышцах в дни обследования, уровня ежедневной активности и потребления макронутриентов, субъективного восприятия нагрузки и физической нагрузки в период тренинга. Это было крайне необходимым для сравнения групп и выявления возможной связи наблюдаемых различий с приемом КП. Тем не менее, неоднородность групп полностью исключить нельзя ввиду отсутствия данных о предыдущей активности и жизни участников. Единственными критериями включения в исследование были отсутствие систематических тренировок до начала исследования и правильное выполнение приседаний со штангой на плечах с массой 100 % от массы тела участника; поэтому, это ограничение следует учитывать.

Zdzieblik et al. [11] выявили увеличение FFM в группе, получавшей КП, по сравнению с контрольной группой в когорте мужчин. Это было подтверждено в другом недавнем исследовании, в котором показано такое же положительное изменение FFM в группе, получавшей КП, по сравнению с группой плацебо в когорте женщин [36]. Безжировая масса (FFM) включает как пассивные, так и активные сократительные ткани [10,37]. Поэтому, в настоящее исследование были дополнительно включены биопсия мышц и ультразвуковое измерение для количественного определения и дифференцировки активных клеток скелетной мускулатуры с целью получения общего представления о составе FFM для дальнейшей интерпретации. Несмотря на то, что ультразвуковое измерение не является золотым стандартом оценки толщины мышц, выявлена значительная корреляция его применения с МРТ-анализом [29], при этом коэффициент вариации и коэффициент внутригрупповой корреляции указывают на высокую надежность, что было установлено в предыдущих исследованиях [38,39]. Полученные нами результаты в отношении параметров состава тела частично совпадают с ранее опубликованными данными [11,36]. Мы также выявили значительное увеличение FFM в группе КОЛ по сравнению с группой ПЛА, что также было показано в исследованиях на пожилых мужчинах с саркопенией и женщинах в пременопаузе. Как показал анализ fCSA и изображений, полученных при ультразвуковом измерении, fCSA и толщина мышц увеличились во всей

когорте, что указывает на то, что силовой тренинг оказал влияние на размер мышц в группах КОЛ и ПЛА в равной степени, т.е. различий по параметру гипертрофии мышц между группами не наблюдалось. Более выраженная гипертрофия волокон II типа, вероятно, связана с высокой нагрузкой в рамках программы тренинга (70 % от 1RM), а также с большей способностью этих волокон увеличиваться в размерах по сравнению с волокнами I типа [40]. Поскольку fCSA анализировали только в фазу 1, проведен дополнительный дисперсионный анализ (ANOVA) для выявления потенциальных различий FFM и данных УЗИ между фазами 1 и 2. При этом различий значений параметров до и после завершения тренинга между фазами 1 и 2 в группах КОЛ и ПЛА не выявлено. Поэтому, ввиду отсутствия различий увеличения FFM и данных УЗИ между фазами 1 и 2, мы предполагаем аналогичное изменение fCSA в соответствующих группах в каждой фазе. Таким образом, мы исключили более выраженную гипертрофию сократительных мышечных клеток в группе КОЛ в качестве фактора, объясняющего межгрупповые различия FFM.

Следовательно, мы предполагаем, что в рамках физиологической реакции в обеих группах к нагрузке адаптировались пассивные компоненты ткани [12,41–43], однако более быстро и более выраженно это произошло в группе КОЛ, чем в группе ПЛА, благодаря приему специальной добавки. В недавних исследованиях уже было показано быстрое усиление синтеза коллагена при приеме КП и выполнении определенных упражнений [20]. Кроме того, мы также предполагаем, что подобное быстрое усиление [синтеза] приводит к увеличению массы пассивных тканей через 12 недель приема КП в сочетании с тренировками. Однако, несмотря на то, что это предположение основано на имеющихся доказательных исследованиях, оно сделано методом исключения с учетом результатов изучения fCSA в настоящей работе; требуется проведение дальнейших исследований для подтверждения наших результатов путем дополнительной количественной оценки этих пассивных тканей.

Несмотря на то, что увеличение FFM было значительно более выраженным при приеме КОЛ, в обеих группах масса тела увеличилась в равной степени. Это объясняется значительным увеличением жировой массы тела (BFM) в группе ПЛА; в группе КОЛ изменения этого параметра после завершения тренинга по сравнению с состоянием до его начала не наблюдалось. Эти результаты отличаются от данных исследований на пожилых мужчинах и женщинах в пременопаузе, в которых наблюдалось уменьшение BFM во всех группах, при этом более выраженное уменьшение этого параметра наблюдалось в группе, получавшей КП [11,36]. Однако у этих участников жировая ткань составляла приблизительно 30 % [11] и 37 % [36] от массы тела, тогда как в популяции настоящего исследования (мужчины, занимающиеся спортом в качестве хобби) эта доля составила 11,3 ± 4,0 % на исходном уровне. Ввиду более высокого уровня физической подготовки и более интенсивной физической активности у участников настоящего исследования уменьшения BFM и не предполагалось.

Тем не менее, несмотря на аналогичную нагрузку и потребление энергии, эффект взаимодействия, выявленный в отношении параметров FFM и BFM, мог быть обусловлен различными потребностями в энергии. Если предположить, что адаптация пассивных компонентов ткани была усилена приемом добавки КП в группе КОЛ, то это могло привести к более высоким потребностям в энергии для создания соответствующей структуры. Однако дополнительными калориями (60 кКал/251кДж в сутки), полученными при приеме КП в группе КОЛ, нельзя объяснить усиление анаболического эффекта [44]. На основании результатов анализа дневников питания мы предполагаем схожие привычки питания у участников в обеих группах (КОЛ и ПЛА). Однако, следует учитывать, что за 3-месячный период дневник питания заполнялся участниками самостоятельно всего в течение 3-х дней. Целесообразность такого подхода в последние годы оспаривалась, поэтому его достоверность также может быть дискутабельной [45]. Несомненно, такой подход был и остается легким в применении, полезными и распространенным инструментом для получения общего представления о пищевых привычках участников. Тем не менее, различия в потреблении энергии нельзя полностью исключить, при этом этими потенциальными различиями можно объяснить более высокую BFM в группе ПЛА после проведения вмешательства.

Настоящее исследование основывалось на результатах работы Zdzieblik et al. [11]. В исследуемой популяции здоровых, молодых участников наблюдалось увеличение FFM, отсутствие изменения BFM и практически полное отсутствие разницы увеличения силы между группой, получавшей коллаген, и группой, получавшей плацебо. Поскольку это лишь частично согласовывалось с результатами, полученными Zdzieblik et al. [11], которые также выявили более выраженное увеличение силы и уменьшение BFM в группе приема коллагена по сравнению с плацебо, требовалось проведение обсуждения. Многие считают, что ежедневное

потребление белка у пожилых людей ниже рекомендуемой нормы потребления (РНП) и что для обеспечения нормальной работы мышечной системы в соответствии с возрастом требуется потреблять больше белка [46]. В исследовании, в котором сравнивалось влияние сывороточного протеина и обогащенного гидролизата коллагена на азотистый баланс у пожилых людей, не выявлено различий между потреблением белков низкой и высокой пищевой ценности [47]. Поэтому, авторы предположили, что коллагеновые белки можно рассматривать в качестве подходящей добавки для пожилых людей и приравнивать к сывороточному белку. Кроме того, уменьшение массы тела в группе сывороточного протеина нельзя было объяснить потерей жировой массы тела, что указывало на уменьшение FFM, чего не наблюдалось в группе коллагена [47]. Следовательно, можно предположить, что более выраженное увеличение FFM после приема коллагена и CTP, наблюдавшееся в исследовании Zdzieblik et al. [11], было результатом усиления адаптации соединительной ткани, а также выраженной гипертрофии сократительных мышечных волокон; этими механизмами можно было бы объяснить значительные различия в увеличении силы. Однако в целом результаты, полученные Zdzieblik et al. [11], противоречат результатам систематического обзора, в котором не выявлено дополнительного улучшения при приеме белковых добавок в сочетании с физическими упражнениями по сравнению с выполнением только физических упражнений [48]. Однако в этот обзор были включены только исследования, в которых применялись добавки с высокой пищевой ценностью, богатые незаменимыми аминокислотами (НАК), или добавки НАК, при этом прием КП не рассматривался. Поэтому, коллагеновые белки могли бы иметь более важное значение для пожилых людей, чем другие упомянутые белковые добавки. Интересно упомянуть, что Jendricke et al. [36] представили результаты у женщин в пременопаузе, которые были аналогичны результатам, полученным в популяции пожилых мужчин при длительном приеме КП. Учитывая отсутствие данных об абсолютном потреблении макронутриентов, можно предположить недостаточность ежедневного потребления белка при занятиях силовым тренингом. Это позволило бы укрепить предположение о том, что длительный прием КП мог бы быть эквивалентным другим стратегиям потребления белка при питании, содержащем низкие количества белка [47].

В нашем исследовании на участниках более молодого возраста выявлено среднее потребление белка равное 1,8 ± 0,5 г/кг массы тела/сут, что является достаточным количеством для обеспечения адаптации к режиму силового тренинга согласно ранее опубликованным рекомендациям [1] и более чем в два раза превышает РНП равную 0,8 г/кг массы тела/сут для общей популяции. Высоким и аналогичным суточным потреблением белка в группах настоящего исследования можно объяснить схожую степень гипертрофии, на которую указывает эквивалентное увеличение fCSA, чем также можно объяснить и увеличение [мышечной] силы. Однако прием КП все-таки влиял и на FFM у пациентов в группе КОЛ, в отношении которых наблюдалась тенденция к несколько более выраженному увеличению силы в упражнении «присед» (на основе 1RM). При этом у молодых, здоровых мужчин это влияние на увеличение силы не было столь же явным, как в популяции более старшего возраста. Это несоответствие, вероятно, связано с суточным потреблением белка, которое изначально было достаточным, и отсутствием дополнительного влияния на адаптацию сократительных мышечных волокон.

Предполагаемая адаптация пассивной соединительной ткани в группе КОЛ, по-видимому, не оказала значительного влияния на увеличение силы. Вполне вероятно, что с помощью [использованных] параметров тренинга и измерений силы невозможно было определить эффекты. Если предположить, что у участников из группы КОЛ увеличился объем соединительной и пассивной ткани в составе мышечно-сухожильной системы, то это могло бы повлиять на быстрые и реактивные движения, такие как при спринте или прыжках, но не на медленные движения, такие как при проводившихся тренировках с 10 повторениями и изучении показателей 1RM и MViC. В настоящее время имеются данные, подтверждающие, что прием КП до и после выполнения большого количества изнурительных прыжков со скамейки и вверх (drop jump) позволяет лучше восстанавливаться [49]. Поэтому, группа, получавшая КП, быстрее вернулась к ранее установленной максимальной высоте в прыжке с противоходом (countermovement jump) после нагрузки с повреждением мышц. Это подкрепляет предположение о том, что прием КП может способствовать восстановлению и адаптации при выполнении быстрых движений.

Oesser et al. [50] выявили повышенный уровень пролина, типичной аминокислоты, входящей в состав коллагена, в плазме крови мышей даже через 48 ч после его приема. Мы проанализировали образцы крови через 12 недель ежедневного применения добавки, которые забирались приблизительное через 24 ч после ее приема. Следовательно, этим можно объяснить более высокие уровни гидроксипролина в группе КОЛ до [очередного] приема добавки. Это указывает на наличие «коллагеноподобных» аминокислот в крови

человека как минимум через 24 ч после последнего приема [добавки] в рамках ее длительного, ежедневного применения. Это можно учитывать при разработке режимов приема добавок или для проведения дальнейших исследований применения коллагена. Следовательно, при длительном приеме достаточным может быть прием меньшей дозы в сутки или прием КП один раз в два дня для поддержания стабильного уровня специфических аминокислот в крови, а также для усиления скорости синтеза коллагена, наблюдаемого у участников, получавших добавку [20].

5. Заключение

После приема КП и проведения силового тренинга увеличивалась FFM, при этом BFM оставалась без изменений. В отношении изменения мышечной силы не выявлено значительных различий у участников, проходивших силовой тренинг и принимавших КП, с участниками, проходившими только силовой тренинг. Однако наблюдалась тенденция к более выраженному улучшению в одном из тестов на мышечную силу в группе КОЛ. Кроме того, помимо популяции участников, новым в настоящем исследовании было проведение биопсии. Поскольку в отношении показателя fCSA не выявлено значительного различия между группами, мы предполагаем, что увеличение FFM после приема КП было связано не только с гипертрофией сократительных мышечных волокон, но и могло быть обусловлено более выраженным увеличением объема соединительной ткани по сравнению с участниками, получавшими плацебо. В дальнейших исследованиях необходимо сделать акцент на количественной оценке пассивных соединительных тканей после длительного приема КП в популяции здоровых людей. Также можно рассмотреть изменение параметров тренинга и процедур обследования с включением в них других упражнений, например, реактивного растяжения, и уменьшением циклов.

Вклад авторов: Разработка концепции: M.d.K., V.O.-H. и P.P.; методология: M.d.K., V.O.-H. и P.P.; управление исследованием и проектом: M.d.K. и V.O.-H.; подготовка рукописи — оригинальный проект: M.d.K.; надзор: P.P.; проведение биопсии: M.d.M. Мы также хотим поблагодарить W.B. за предоставленную нам возможность пользоваться лабораторией и материалами для проведения иммуногистохимического анализа.
Спонсирование: Это исследование профинансировано Научно-исследовательским институтом по изучению коллагена (CRI), Германия.
Благодарность: Мы выражаем благодарность за поддержку Фонду публикаций открытого доступа DFG (Немецкий исследовательский фонд), Рурский университет в Бохуме.
Конфликт интересов: Авторы не заявляют о наличии конфликта интересов. Спонсоры не участвовали в разработке дизайна исследования; сборе, анализах и интерпретации данных; и не принимали участия в принятии решений касательно опубликованных результатов работы. Однако спонсорам разрешалось вносить предложения касательно формулировок, при этом последнее слово все же оставалось за авторами. Независимость авторов и право свободно публиковать данные были закреплены в контракте.

Сокращения

1RM	Метод одного максимального повторения
BFM	Жировая масса тела
BP	Жим лежа
BR	Жим в наклоне
BW	Масса тела
КОЛ	Группа приема гидролизованных коллагеновых пептидов
КП	Коллагеновые пептиды
CSA	Площадь поперечного сечения
DL	Становая тяга
DOMS	Отсроченная болезненность мышц
ВКМ	Внеклеточный матрикс
fCSA	Площадь поперечного сечения мышечных волокон
FFM	Безжировая масса
KE	Разгибание ноги в коленном суставе
LC	Окружность ноги
Leg-Ex	Разгибание ноги

MViC	Максимальное произвольное изометрическое сокращение
ПЛА	Контрольная группа, получавшая плацебо
РНП	Рекомендуемая норма потребления
СТР	Силовой тренинг
RPE	Шкала субъективной оценки интенсивности нагрузки
SQ	Присед