

УДК [612.173+616.127]:796.015

DOI: 10.37482/2687-1491-Z099

ВЛИЯНИЕ ИШЕМИЧЕСКОГО ПРЕКОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕД ТРЕНИРОВКОЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И АРТЕРИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ МУЖЧИН С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ

*В.В. Сверчков** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

*Е.В. Быков** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*Уральский государственный университет физической культуры
(г. Челябинск)

Многими исследованиями было продемонстрировано, что удаленное ишемическое прекондиционирование оказывает положительное влияние на мышечную работоспособность, а также влияет на срочные и долгосрочные адаптационные реакции артериального давления. **Цель** настоящей работы состояла в изучении влияния удаленного ишемического прекондиционирования, выполненного перед силовым упражнением, на рейтинг воспринимаемого напряжения, уровень работоспособности и артериальное давление у мужчин с метаболическим синдромом. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 30 нетренированных мужчин (средний возраст – 35,2±6,4 лет), по состоянию здоровья соответствующих критериям метаболического синдрома. Участники были распределены на три группы: «ишемическое прекондиционирование + силовая нагрузка»; «плацебо + силовая нагрузка»; «силовая нагрузка». Оценивались уровень воспринимаемого напряжения, количество повторов в подходе, средний и общий тренировочный объем при выполнении силового упражнения до и после вмешательства (ишемическое прекондиционирование или плацебо). Систолическое, диастолическое и среднее артериальное давление определялось до вмешательства (Т0), сразу после вмешательства и нагрузки (Т1), через 15 мин (Т2) и 30 мин (Т3) после нагрузки. **Результаты.** Установлено, что после вмешательства уровень воспринимаемого напряжения был статистически значимо ниже, а среднее количество повторов в подходе, средний и общий тренировочный объем – выше в группе «ишемическое прекондиционирование + силовая нагрузка» по отношению к остальным двум группам ($p < 0,05$). Также наблюдалось более выраженное уменьшение систолического и среднего артериального давления в динамике от Т0 до Т3 в группе «ишемическое прекондиционирование + силовая нагрузка» по отношению к двум другим группам ($p < 0,05$). Таким образом, удаленное ишемическое прекондиционирование, используемое перед силовой тренировкой, способно снижать уровень воспринимаемого напряжения, увеличивать общий тренировочный объем и приводить к более выраженной посттренировочной гипотензии у лиц с метаболическим синдромом.

Ключевые слова: переносимость физической нагрузки, ишемическое прекондиционирование, шкала Борга, рейтинг воспринимаемого напряжения, посттренировочная гипотензия, мужчины с метаболическим синдромом.

Ответственный за переписку: Сверчков Вадим Владимирович, адрес: 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, д. 1; e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru

Для цитирования: Сверчков В.В., Быков Е.В. Влияние ишемического прекондиционирования перед тренировкой на работоспособность и артериальное давление мужчин с метаболическим синдромом // Журн. мед-биол. исследований. 2022. Т. 10, № 2. С. 132–142. DOI: 10.37482/2687-1491-Z099

Ишемическое прекондиционирование (ИПК) – методика, состоящая из повторяющихся коротких циклов ишемии и реперфузии (5-минутная ишемия и 5-минутная реперфузия). ИПК представляет собой явление, при котором кратковременное неповреждающее ишемическое воздействие повышает толерантность организма к последующей ишемической нагрузке. ИПК способно обеспечить защиту сердца от инфаркта миокарда [1], а также улучшение сердечной деятельности во время упражнений [2]. Также показано, что удаленное ИПК (короткие циклы ишемии и реперфузии, применяемые к органу или ткани, удаленным от сердца) повышает работоспособность человека, если применяется до физической активности [3]. Однако в ряде исследований сообщалось об отсутствии влияния или даже отрицательном влиянии удаленного ИПК на показатели выносливости [4].

В систематическом обзоре и метаанализе данных по влиянию ИПК перед выполнением упражнений заявлено, что количество доказательств, демонстрирующих положительное влияние ИПК на работоспособность, увеличивается, использование данного метода может эффективно улучшить показатели в аэробных и анаэробных упражнениях, однако выводы о его эффективности пока сделать нельзя [5]. Хотя точные физиологические механизмы, лежащие в основе эффекта ИПК по повышению работоспособности, все еще нуждаются в уточнении, потенциальными объясняющими гипотезами эффекта метода являются улучшенная метаболическая эффективность и/или увеличение кровотока в активных скелетных мышцах [6], а также нейронные адаптации. Считается, что физиологические изменения, связанные с ИПК, замедляют развитие утомления и тем самым повышают выносливость [7]. Утомление может быть охарактеризовано как снижение объективного показателя работоспособности с течением времени, вызванное как центральными механизмами (снижением произвольной активации мышц) [8], так и периферическими (уменьшением соотношения аденозинтрифос-

фат/аденозинмонофосфат, повышением содержания активных форм кислорода, накоплением неорганического фосфата и H^+) [9].

Рейтинг воспринимаемого напряжения характеризует уровень субъективных ощущений во время выполнения упражнений, которые возникают из-за изменения различных физиологических систем человека. Считается, что во время физической активности уровень воспринимаемой нагрузки влияет на участника, таким образом формируя отношение к двигательной активности. Отрицательные аффективные реакции (т. е. снижение удовольствия), возникающие во время упражнений средней и высокой интенсивности, являются потенциальным сдерживающим фактором для привычной физической активности. Эти реакции могут быть вызваны чувством дискомфорта во время выполнения упражнений; особенно это актуально для людей, ведущих малоподвижный образ жизни, в т. ч. с ожирением и метаболическим синдромом (МС) [10].

Исходя из вышеуказанного, поиск стратегий, которые сохраняли бы эффекты упражнений средней и высокой интенсивности, но при этом улучшали переносимость нагрузок, является актуальной задачей для лиц с МС. Кроме того, некоторые исследования показали положительное влияние ИПК на артериальное давление, что может стать эффективной терапевтической стратегией при лечении артериальной гипертензии [11] и быть актуальным для людей с МС, имеющим предгипертоническое или гипертоническое состояние. На данный момент только одно исследование посвящено изучению уровня артериального давления после применения ИПК перед упражнениями с отягощениями [12], в нем ИПК вызывало постренировочную гипотензию у нормотензивных лиц. К сожалению, мы не нашли ни одной работы, изучающей влияние ИПК перед силовой тренировкой у предгипертонивных лиц.

Таким образом, целью данного исследования была оценка влияния удаленного ИПК, проведенного перед силовым упражнением, на уровень восприятия напряжения, количество

повторов в подходе, общий объем выполненной силовой работы и посттренировочную реакцию артериального давления у лиц с МС.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 30 нетренированных мужчин (средний возраст – $35,2 \pm 6,4$ лет), состояние здоровья которых отвечало критериям МС. МС диагностировался в соответствии с комбинированным определением Международной диабетической федерации (IDF), Американской кардиологической ассоциации (AHA) и Национального института сердца, легких и крови (NHLBI) [13].

Для установления МС у обследуемых мужчин было необходимо наличие минимум трех из следующих критериев:

- 1) центральное ожирение, окружность талии от 94 см и выше;
- 2) уровень триглицеридов крови от 150 мг/дл и выше или текущий прием препаратов, снижающих уровень триглицеридов;
- 3) содержание холестерина липопротеинов высокой плотности менее 40 мг/дл;
- 4) систолическое артериальное давление (САД) от 130 мм рт. ст. и выше, или диастолическое артериальное давление (ДАД) от 85 мм рт. ст. и выше, или текущий прием антигипертензивных препаратов;
- 5) уровень глюкозы плазмы крови более 100 мг/дл, или текущий прием сахароснижающих препаратов, или ранее диагностированный сахарный диабет 2-го типа.

Испытуемые подписали информированное согласие на участие в исследовании, в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

Дизайн исследования. Все испытуемые проходили исследования трижды. Между каждым посещением лаборатории должно было пройти не менее 72 ч. При первом посещении участники были ознакомлены с техникой выполнения упражнения «Жим штанги лежа». Далее участники делали разминочный подход, после чего на каждый следующий подход добавлялся вес отягощения (5 кг) до тех пор, пока испытуемые могли выполнить 10 повторов до концентрического волевого отказа (10ПМ). После этого рассчитывался повторный максимум (1ПМ) по формуле В. Epley [14].

При втором посещении испытуемые были случайным образом разделены на группы: 1) «ишемическое прекондиционирование + силовая нагрузка» (ИПК+СН; $n = 10$); 2) «плацебо + силовая нагрузка» (П+СН; $n = 10$); 3) «силовая нагрузка» (СН; $n = 10$). После разминки (два подхода в упражнении «Жим штанги лежа» по 15 повторов при 50 % от 1ПМ с интервалом отдыха между подходами 1 мин) каждого испытуемого просили выполнить 3 подхода в упражнении «Жим штанги лежа» с весом отягощения 80 % от 1ПМ с паузой отдыха между подходами 2 мин.

При третьем посещении лаборатории перед силовым упражнением в 1-й и 2-й группах были выполнены вмешательства – ИПК или плацебо. ИПК состояло из 4 циклов односторонней 5-минутной окклюзии плечевой артерии (220 мм рт. ст.) при помощи наложения манжеты вокруг подмышечной области руки с последующими 5-минутными реперфузиями [11]; общая продолжительность вмешательства составила 40 мин. Протокол плацебо состоял из 4 циклов 5-минутных окклюзий при давлении 20 мм рт. ст., чередующихся с 5-минутной реперфузией при 0 мм рт. ст.; общая продолжительность – 40 мин. В 3-й группе вмешательства не осуществлялись. Далее участники выполняли силовое упражнение по той же схеме, что и при втором посещении лаборатории.

Оценка показателей. Воспринимаемая нагрузка оценивалась при помощи шкалы, разработанной Гуннаром Боргом и предназначенной для определения уровня нагрузки и усилий, утомления и уровня одышки во время физической активности [15]. В данном исследовании после второго и третьего посещения лаборатории испытуемых просили оценить уровень переносимости нагрузки по шкале от 6 (никакого напряжения) до 20 (максимальное напряжение).

Работоспособность определялась при втором и третьем посещении лаборатории – по среднему количеству повторов из 3 подходов с 80 % 1ПМ, среднему объему работы за 3 подхода (вес отягощения × количество повторов ×

× количество подходов) и общему выполненному объему работы (вес отягощения × количество повторов × количество подходов × количество испытуемых в группе).

Артериальное давление измерялось при помощи автоматического тонометра Omron M2 Eсо (Япония) во время третьего посещения лаборатории: до вмешательства (Т0), сразу после вмешательства и выполнения 3 подходов с 80 % 1ПМ (Т1), через 15 мин (Т2) и 30 мин (Т3) после силовой нагрузки. Оценивались САД, ДАД, рассчитывалось среднее артериальное давление: $срАД = (САД + 2 \cdot ДАД) / 3$.

Статистическая обработка результатов. Для каждого параметра (кроме общего объема работы) вычислялись среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm \sigma$). Оценка статистической значимости различий до, во время и после протокола внутри каждой группы, а также между группами проводилась с применением

критериев Стьюдента и Фишера (при $\alpha = 0,05$), оценка статистической значимости различий уровня воспринимаемой нагрузки – при помощи критериев Манна–Уитни и Вилкоксона (при $\alpha = 0,05$).

Результаты. Уровень воспринимаемого напряжения (*табл. 1*) во время третьего посещения лаборатории был статистически значимо ниже ($p < 0,05$) в группе ИПК+СН ($14,1 \pm 1,66$ балла) по отношению к группам П+СН ($16,1 \pm 1,26$ балла) и СН ($16,7 \pm 1,15$ балла), хотя при втором посещении не наблюдалось статистически значимых различий между группами ($p > 0,05$).

Количество повторов в группе ИПК+СН во время третьего посещения лаборатории составило $12,34 \pm 1,63$, что статистически значимо ($p < 0,05$) больше, чем в группах П+СН ($9,68 \pm 1,27$) и СН ($9,15 \pm 1,29$), хотя также не отмечалось статистически значимой разницы

Таблица 1

**ОЦЕНКА УРОВНЯ ВОСПРИНИМАЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ
И ОБЪЕМА ВЫПОЛНЕННОЙ СИЛОВОЙ РАБОТЫ В ГРУППАХ МУЖЧИН
ПРИ 2-м И 3-м ПОСЕЩЕНИИ ЛАБОРАТОРИИ ($M \pm \sigma$)
ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PERCEIVED EXERTION
AND TRAINING VOLUME IN THE GROUPS OF MEN
DURING THE 2nd AND 3rd VISIT TO THE LABORATORY ($M \pm \sigma$)**

Показатель	Группа		
	ИПК+СН	П+СН	СН
Воспринимаемое напряжение, баллы:			
2-е посещение	$16,3 \pm 1,36^*$	$16,7 \pm 1,06$	$17,0 \pm 1,15$
3-е посещение	$14,1 \pm 1,66^{*\wedge}$	$16,1 \pm 1,26^\wedge$	$16,7 \pm 1,15^*$
Количество повторов упражнения:			
2-е посещение	$9,18 \pm 1,41^*$	$9,33 \pm 1,45$	$8,52 \pm 1,34$
3-е посещение	$12,34 \pm 1,63^{*\wedge}$	$9,68 \pm 1,27^\wedge$	$9,15 \pm 1,29^*$
Средний объем работы, кг:			
2-е посещение	$1489 \pm 291,91^*$	$1436 \pm 269,95$	$1393 \pm 203,65$
3-е посещение	$1729 \pm 301,91^{*\wedge}$	$1482 \pm 243,76^\wedge$	$1425 \pm 213,83^*$
Общий объем работы, кг:			
2-е посещение	$14\ 890^*$	$14\ 360$	$13\ 730$
3-е посещение	$17\ 290^{*\wedge}$	$14\ 820^\wedge$	$14\ 250^*$

Примечание. Установлены статистически значимые различия ($p < 0,05$): * – между 2-м и 3-м посещениями внутри групп; ^ – между группами ИПК+СН и П+СН во время 3-го посещения; * – между группами ИПК+СН и СН во время 3-го посещения.

($p > 0,05$) между группами во время второго посещения. При этом средний и общий объем выполненной работы в группе ИПК+СН также были статистически значимо выше ($p < 0,05$) во время третьего посещения относительно двух других групп.

Результаты временных реакций артериального давления на различные протоколы приведены в табл. 2. Значительные различия были выявлены при сравнении трех экспериментальных условий для САД, ДАД и срАД.

САД оно составило: в группе ИПК+СН – $8,9 \pm 3,54$ мм рт. ст., П+СН – $5,3 \pm 3,89$ мм рт. ст., СН – $4,1 \pm 2,28$ мм рт. ст.; для ДАД: в группе ИПК+СН – $4,2 \pm 2,78$ мм рт. ст., П+СН – $2,1 \pm 1,52$ мм рт. ст., СН – $2,7 \pm 1,16$ мм рт. ст.; для срАД: в группе ИПК+СН – $5,77 \pm 1,54$ мм рт. ст., П+СН – $3,17 \pm 1,66$ мм рт. ст., СН – $3,17 \pm 1,26$ мм рт. ст. Также наблюдались статистически значимые различия по САД и срАД ($p < 0,05$) между группой ИПК+СН и двумя другими в периодах Т2 и Т3.

Таблица 2

**ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ
В ГРУППАХ МУЖЧИН В ПРОЦЕССЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ($M \pm \sigma$)**
**ARTERIAL PRESSURE DYNAMICS IN THE GROUPS OF MEN
IN THE COURSE OF THE STUDY ($M \pm \sigma$)**

Показатель	Группа		
	ИПК+СН	П+СН	СН
САД, мм рт. ст.:			
Т0	$134,25 \pm 4,64^*$	$133,58 \pm 4,09^*$	$133,38 \pm 4,06^*$
Т1	$150,29 \pm 6,28$	$149,37 \pm 6,24$	$149,29 \pm 4,08$
Т2	$126,81 \pm 3,52^{\wedge \times}$	$129,93 \pm 2,73^{\wedge}$	$130,32 \pm 2,04^{\times}$
Т3	$125,32 \pm 3,31^{*\wedge \times}$	$128,24 \pm 2,44^{*\wedge}$	$129,21 \pm 2,04^{*\times}$
ДАД, мм рт. ст.:			
Т0	$85,31 \pm 2,16^*$	$84,93 \pm 2,81^*$	$84,19 \pm 2,28^*$
Т1	$88,50 \pm 2,72$	$88,23 \pm 2,54$	$88,49 \pm 3,23$
Т2	$82,41 \pm 2,46$	$83,72 \pm 2,01$	$83,59 \pm 2,17$
Т3	$81,15 \pm 2,51^*$	$82,87 \pm 2,21^*$	$82,43 \pm 2,01^*$
срАД, мм рт. ст.:			
Т0	$101,62 \pm 1,81^*$	$101,12 \pm 2,35^*$	$101,17 \pm 2,11^*$
Т1	$109,38 \pm 3,18$	$108,43 \pm 2,56$	$108,67 \pm 1,85$
Т2	$97,22 \pm 2,13^{\wedge \times}$	$99,13 \pm 1,52^{\wedge}$	$99,18 \pm 1,85^{\times}$
Т3	$95,83 \pm 2,53^{*\wedge \times}$	$97,93 \pm 1,61^{*\wedge}$	$98,07 \pm 1,63^{*\times}$

Примечание. Обозначения периодов исследования: Т0 – до вмешательства; Т1 – сразу после вмешательства и выполнения 3 подходов с 80 % ИПМ; Т2 – через 15 мин после силовой нагрузки; Т3 – через 30 мин после силовой нагрузки. Установлены статистически значимые различия ($p < 0,05$): * – внутри групп между Т0 и Т3; ^ – между группами ИПК+СН и П+СН в периодах Т2 и Т3; \times – между группами ИПК+СН и СН в периодах Т2 и Т3.

Статистически значимых различий ($p > 0,05$) САД, ДАД, срАД между группами в периодах Т0 и Т1 не наблюдалось. Однако при этом было отмечено статистически значимое снижение ($p < 0,05$) САД, ДАД, срАД между периодами Т0 и Т3 во всех группах. Так, для

Обсуждение. Наше исследование впервые продемонстрировало положительное влияние удаленного ИПК перед силовым упражнением на уровень воспринимаемого напряжения и силовую работоспособность у лиц с МС. Основным механизмом уменьшения восприятия

напряжения и повышения физической работоспособности, предположительно, является усиление митохондриального метаболизма в скелетных мышцах, т. к. отмечено, что ИПК ускоряет динамику дезоксигенации мышц во время выполнения упражнений [16]. Однако другие данные о центральных и периферических детерминантах утомления, мышечной активности и оксигенации мышц во время выполнения упражнений не подтверждают эту гипотезу [17]. Уменьшение воспринимаемого напряжения может быть вызвано также механизмом условной модуляции боли после циклов ишемии и реперфузии [18].

Активация аденозиновых рецепторов [19], высвобождение оксида азота [20], расширение сосудов после реперфузии крови, повышенная экстракция кислорода мышцами [16] также могут быть потенциальными физиологическими механизмами снижения воспринимаемого напряжения и увеличения работоспособности после удаленного ИПК. R. Cruz et al. высказали предположение, что ИПК может десенсибилизировать мышечные афференты III и IV типов, что приводит к уменьшению торможения на супраспинальном и/или спинномозговом уровне во время упражнений. Авторы считают, что эти механизмы могут быть ответственны за более низкое восприятие усилия и более высокую мышечную активность, наблюдаемую во время езды на велосипеде с постоянной нагрузкой после ИПК [21], хотя эта точка зрения тоже подверглась критике [22]. Альтернативным объяснением восприятия меньшего усилия во время тренировки может быть то, что периоды локальной ишемии увеличивают возбудимость кортикоспинального пути в покое [23].

Проведенный эксперимент также впервые выявил значительную посттренировоч-

ную гипотензию после протокола ИПК+СН. Нам известно только одно исследование, изучавшее посттренировочную реакцию артериального давления у тренированных лиц с нормальным артериальным давлением при использовании ИПК перед сеансом высокоинтенсивных упражнений с отягощениями [12]; в нем протокол ИПК продемонстрировал значительное снижение САД, ДАД, срАД. Наше исследование подтвердило эти результаты у мужчин с МС, имеющих предгипертоническое состояние.

ИПК является новым и многообещающим терапевтическим вмешательством, влияющим на срочные [24] и долговременные адаптационные реакции [25] артериального давления. При этом известно, что силовая тренировка тоже вызывает посттренировочную гипотензию [26]. Уменьшение преднагрузки, снижение систолического объема, а также вегетативная модуляция после упражнений с отягощениями высокой интенсивности являются возможными механизмами, которые влияют на посттренировочную гипотензию [27]. При этом применение ИПК перед тренировкой может дополнительно снизить периферическое сосудистое сопротивление за счет высвобождения аденозина, брадикинина, кальцитонина [28]; вероятно, это способствовало более выраженной гипотензивной реакции в группе ИПК+СН по отношению к двум другим группам.

Таким образом, удаленное ИПК, используемое перед силовой тренировкой высокой интенсивности, уменьшает уровень воспринимаемого напряжения, тем самым улучшая переносимость нагрузки, увеличивает общий тренировочный объем и вызывает более выраженный гипотензивный эффект у лиц с МС.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Murry C.E., Jennings R.B., Reimer K.A. Preconditioning with Ischemia: A Delay of Lethal Cell Injury in Ischemic Myocardium // *Circulation*. 1986. Vol. 74, № 5. P. 1124–1136. DOI: [10.1161/01.cir.74.5.1124](https://doi.org/10.1161/01.cir.74.5.1124)
2. Marongiu E., Crisafulli A. Cardioprotection Acquired Through Exercise: The Role of Ischemic Preconditioning // *Curr. Cardiol. Rev.* 2014. Vol. 10, № 4. P. 336–348. DOI: [10.2174/1573403x10666140404110229](https://doi.org/10.2174/1573403x10666140404110229)
3. Wiggins C.C., Constantini K., Paris H.L., Mickleborough T.D., Chapman R.F. Ischemic Preconditioning, O₂ Kinetics, and Performance in Normoxia and Hypoxia // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2019. Vol. 51, № 5. P. 900–911. DOI: [10.1249/MSS.0000000000001882](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001882)
4. Marocolo M., Simim M.A.M., Bernardino A., Monteiro I.R., Patterson S.D., da Mota G.R. Ischemic Preconditioning and Exercise Performance: Shedding Light Through Smallest Worthwhile Change // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2019. Vol. 119, № 10. P. 2123–2149. DOI: [10.1007/s00421-019-04214-6](https://doi.org/10.1007/s00421-019-04214-6)
5. Salvador A.F., De Aguiar R.A., Lisbôa F.D., Pereira K.L., Cruz R.S., Caputo F. Ischemic Preconditioning and Exercise Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016. Vol. 11, № 1. P. 4–14. DOI: [10.1123/ijsp.2015-0204](https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0204)
6. Incognito A., Burr J.F., Millar P.J. The Effects of Ischemic Preconditioning on Human Exercise Performance // *Sports Med.* 2016. Vol. 46, № 4. P. 531–544. DOI: [10.1007/s40279-015-0433-5](https://doi.org/10.1007/s40279-015-0433-5)
7. Halley S.L., Marshall P., Siegler J.C. The Effect of IPC on Central and Peripheral Fatiguing Mechanisms in Humans Following Maximal Single Limb Isokinetic Exercise // *Physiol. Rep.* 2019. Vol. 7, № 8. Art. № e14063. DOI: [10.14814/phy2.14063](https://doi.org/10.14814/phy2.14063)
8. Weavil J., Amann M. Neuromuscular Fatigue During Whole Body Exercise // *Curr. Opin. Physiol.* 2019. Vol. 10. P. 128–136. DOI: [10.1016/j.cophys.2019.05.008](https://doi.org/10.1016/j.cophys.2019.05.008)
9. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-Induced Oxidative Stress: Friend or Foe? // *J. Sport Health Sci.* 2020. Vol. 9, № 5. P. 415–425. DOI: [10.1016/j.jshs.2020.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001)
10. Welch A.S., Hulley A., Ferguson C., Beauchamp M.R. Affective Responses of Inactive Women to a Maximal Incremental Exercise Test: A Test of the Dual-Mode Model // *Psychol. Sport Exerc.* 2007. Vol. 8, № 4. P. 401–423. DOI: [10.1016/j.psychsport.2006.09.002](https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.09.002)
11. Tong X.Z., Cui W.F., Li Y., Su C., Shao Y.J., Liang J.W., Zhou Z.T., Zhang C.J., Zhang J.N., Zhang X.Y., Xia W.H., Tao J. Chronic Remote Ischemic Preconditioning-Induced Increase of Circulating hSDF-1 α Level and Its Relation with Reduction of Blood Pressure and Protection Endothelial Function in Hypertension // *J. Hum. Hypertens.* 2019. Vol. 33, № 12. P. 856–862. DOI: [10.1038/s41371-018-0151-1](https://doi.org/10.1038/s41371-018-0151-1)
12. Panza P., Novaes J., Telles L.G., Campos Y., Araújo G., Neto N., Raider L., Novaes G., Leitão L., Vianna J. Ischemic Preconditioning Promotes Post-Exercise Hypotension in a Session of Resistance Exercise in Normotensive Trained Individuals // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Vol. 17, № 1. Art. № 78. DOI: [10.3390/ijerph17010078](https://doi.org/10.3390/ijerph17010078)
13. Alberti K.G.M.M., Eckel R.H., Grundy S.M., Zimmet P.Z., Cleeman J.I., Donato K.A., Fruchart J.-C., James W.P.T., Loria C.M., Smith S.C. Jr. Harmonizing the Metabolic Syndrome: A Joint Interim Statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity // *Circulation.* 2009. Vol. 120, № 16. P. 1640–1645. DOI: [10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644)
14. LeSuer D.A., McCormick J.H., Mayhew J.L., Wasserstein R.L., Arnold M.D. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift // *J. Strength Condit. Res.* 1997. Vol. 11, № 4. P. 211–213.
15. Williams N. The Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) Scale // *Occup. Med.* 2017. Vol. 67, iss. 5. P. 404–405. DOI: [10.1093/occmed/kqx063](https://doi.org/10.1093/occmed/kqx063)
16. Tanaka D., Suga T., Tanaka T., Kido K., Honjo T., Fujita S., Hamaoka T., Isaka T. Ischemic Preconditioning Enhances Muscle Endurance During Sustained Isometric Exercise // *Int. J. Sports Med.* 2016. Vol. 37, № 8. P. 614–618. DOI: [10.1055/s-0035-1565141](https://doi.org/10.1055/s-0035-1565141)
17. Behrens M., Zschorlich V., Mittlmeier T., Bruhn S., Husmann F. Ischemic Preconditioning Did Not Affect Central and Peripheral Factors of Performance Fatigability After Submaximal Isometric Exercise // *Front. Physiol.* 2020. № 11. Art. № 371. DOI: [10.3389/fphys.2020.00371](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00371)

18. Nir R.-R., Yarnitsky D. Conditioned Pain Modulation // *Curr. Opin. Support. Palliat. Care.* 2015. Vol. 9, № 2. P. 131–137. DOI: [10.1097/SPC.000000000000126](https://doi.org/10.1097/SPC.000000000000126)
19. Schroeder C.A. Jr., Lee H.T., Shah P.M., Babu S.C., Thompson C.I., Belloni F.L. Preconditioning with Ischemia or Adenosine Protects Skeletal Muscle from Ischemic Tissue Reperfusion Injury // *J. Surg. Res.* 1996. Vol. 63, № 1. P. 29–34. DOI: [10.1006/jsre.1996.0217](https://doi.org/10.1006/jsre.1996.0217)
20. Wilk M., Krzysztofik M., Jarosz J., Krol P., Leznicka K., Zajac A., Stastny P., Bogdanis G.C. Impact of Ischemic Intra-Conditioning on Power Output and Bar Velocity of the Upper Limbs // *Front. Physiol.* 2021. № 12. Art. № 626915. DOI: [10.3389/fphys.2021.626915](https://doi.org/10.3389/fphys.2021.626915)
21. Cruz R.S., Pereira K.L., Lisboa F.D., Caputo F. Could Small-Diameter Muscle Afferents Be Responsible for the Ergogenic Effect of Limb Ischemic Preconditioning? // *J. Appl. Physiol.* (1985). 2017. Vol. 122, № 3. P. 718–720. DOI: [10.1152/jappphysiol.00662.2016](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00662.2016)
22. Angius L., Crisafulli A., Hureau T.J., Broxterman R.M., Amann M., Incognito A.V., Burr J.F., Millar P.J., Jones H., Thijssen D.J., Patterson S.D., Jeffries O., Waldron M., Silva B.M., Lopes T.R., Vianna L.C., Smith J.R., Copp S.W., Van Guilder G.P., Zuo L., Chuang C.-C. Commentaries on Viewpoint: Could Small-Diameter Muscle Afferents Be Responsible for the Ergogenic Effect of Limb Ischemic Preconditioning? // *J. Appl. Physiol.* (1985). 2017. Vol. 122, № 3. P. 721–725. DOI: [10.1152/jappphysiol.00030.2017](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00030.2017)
23. McNulty P.A., Macefield V.G., Taylor J.L., Hallett M. Cortically Evoked Neural Volleys to the Human Hand Are Increased During Ischaemic Block of the Forearm // *J. Physiol.* 2002. Vol. 538, № 1. P. 279–288. DOI: [10.1113/jphysiol.2001.013200](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.013200)
24. Madias J.E. Effect of Serial Arm Ischemic Preconditioning Sessions on the Systemic Blood Pressure of a Normotensive Subject // *Med. Hypotheses.* 2011. Vol. 76, № 4. P. 503–506. DOI: [10.1016/j.mehy.2010.12.002](https://doi.org/10.1016/j.mehy.2010.12.002)
25. Baffour-Awuah B., Dieberg G., Pearson M.J., Smart N.A. The Effect of Remote Ischaemic Conditioning on Blood Pressure Response: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Int. J. Cardiol. Hypertens.* 2021. Vol. 8. Art. № 100018. DOI: [10.1016/j.ijchy.2021.100081](https://doi.org/10.1016/j.ijchy.2021.100081)
26. Pires N.F., Coelho-Júnior H.J., Gambassi B.B., de Faria A.P.C., Ritter A.M.V., de Andrade Barboza C., Ferreira-Melo S.E., Rodrigues B., Júnior H.M. Combined Aerobic and Resistance Exercises Evokes Longer Reductions on Ambulatory Blood Pressure in Resistant Hypertension: A Randomized Crossover Trial // *Cardiovasc. Ther.* 2020. Vol. 2020. Art. № 8157858. DOI: [10.1155/2020/8157858](https://doi.org/10.1155/2020/8157858)
27. Machado M.V., Barbosa T.P.C., Crispino T.C., Junqueira das Neves F., Rodrigues G.D., Soares P.P.D.S., da Nóbrega A.C.L. Cardiovascular and Autonomic Responses After a Single Bout of Resistance Exercise in Men with Untreated Stage 2 Hypertension // *Int. J. Hypertens.* 2021. Vol. 2021. Art. № 6687948. DOI: [10.1155/2021/6687948](https://doi.org/10.1155/2021/6687948)
28. Billah M., Ridiandries A., Allahwala U., Mudaliar H., Dona A., Hunyor S., Khachigian L.M., Bhindi R. Circulating Mediators of Remote Ischemic Preconditioning: Search for the Missing Link Between Non-Lethal Ischemia and Cardioprotection // *Oncotarget.* 2019. Vol. 10, № 2. P. 216–244. DOI: [10.18632/oncotarget.26537](https://doi.org/10.18632/oncotarget.26537)

References

1. Murry C.E., Jennings R.B., Reimer K.A. Preconditioning with Ischemia: A Delay of Lethal Cell Injury in Ischemic Myocardium. *Circulation*, 1986, vol. 74, no. 5, pp. 1124–1136. DOI: [10.1161/01.cir.74.5.1124](https://doi.org/10.1161/01.cir.74.5.1124)
2. Marongiu E., Crisafulli A. Cardioprotection Acquired Through Exercise: The Role of Ischemic Preconditioning. *Curr. Cardiol. Rev.*, 2014, vol. 10, no. 4, pp. 336–348. DOI: [10.2174/1573403x10666140404110229](https://doi.org/10.2174/1573403x10666140404110229)
3. Wiggins C.C., Constantini K., Paris H.L., Mickleborough T.D., Chapman R.F. Ischemic Preconditioning, O₂ Kinetics, and Performance in Normoxia and Hypoxia. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2019, vol. 51, no. 5, pp. 900–911. DOI: [10.1249/MSS.0000000000001882](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001882)
4. Marocolo M., Simim M.A.M., Bernardino A., Monteiro I.R., Patterson S.D., da Mota G.R. Ischemic Preconditioning and Exercise Performance: Shedding Light Through Smallest Worthwhile Change. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2019, vol. 119, no. 10, pp. 2123–2149. DOI: [10.1007/s00421-019-04214-6](https://doi.org/10.1007/s00421-019-04214-6)
5. Salvador A.F., De Aguiar R.A., Lisboa F.D., Pereira K.L., Cruz R.S., Caputo F. Ischemic Preconditioning and Exercise Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2016, vol. 11, no. 1, pp. 4–14. DOI: [10.1123/ijsp.2015-0204](https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0204)

6. Incognito A., Burr J.F., Millar P.J. The Effects of Ischemic Preconditioning on Human Exercise Performance. *Sports Med.*, 2016, vol. 46, no. 4, pp. 531–544. DOI: [10.1007/s40279-015-0433-5](https://doi.org/10.1007/s40279-015-0433-5)
7. Halley S.L., Marshall P., Siegler J.C. The Effect of IPC on Central and Peripheral Fatiguing Mechanisms in Humans Following Maximal Single Limb Isokinetic Exercise. *Physiol. Rep.*, 2019, vol. 7, no. 8. Art. no. e14063. DOI: [10.14814/phy2.14063](https://doi.org/10.14814/phy2.14063)
8. Weavil J.C., Amann M. Neuromuscular Fatigue During Whole Body Exercise. *Curr. Opin. Physiol.*, 2019, vol. 10, pp. 128–136. DOI: [10.1016/j.cophys.2019.05.008](https://doi.org/10.1016/j.cophys.2019.05.008)
9. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-Induced Oxidative Stress: Friend or Foe? *J. Sport Health Sci.*, 2020, vol. 9, no. 5, pp. 415–425. DOI: [10.1016/j.jshs.2020.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001)
10. Welch A.S., Hulley A., Ferguson C., Beauchamp M.R. Affective Responses of Inactive Women to a Maximal Incremental Exercise Test: A Test of the Dual-Mode Model. *Psychol. Sport Exerc.*, 2007, vol. 8, no. 4, pp. 401–423. DOI: [10.1016/j.psychsport.2006.09.002](https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.09.002)
11. Tong X.Z., Cui W.F., Li Y., Su C., Shao Y.J., Liang J.W., Zhou Z.T., Zhang C.J., Zhang J.N., Zhang X.Y., Xia W.H., Tao J. Chronic Remote Ischemic Preconditioning-Induced Increase of Circulating hSDF-1 α Level and Its Relation with Reduction of Blood Pressure and Protection Endothelial Function in Hypertension. *J. Hum. Hypertens.*, 2019, vol. 33, no. 12, pp. 856–862. DOI: [10.1038/s41371-018-0151-1](https://doi.org/10.1038/s41371-018-0151-1)
12. Panza P., Novaes J., Telles L.G., Campos Y., Araújo G., Neto N., Raider L., Novaes G., Leitão L., Vianna J. Ischemic Preconditioning Promotes Post-Exercise Hypotension in a Session of Resistance Exercise in Normotensive Trained Individuals. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 1. Art. no. 78. DOI: [10.3390/ijerph17010078](https://doi.org/10.3390/ijerph17010078)
13. Alberti K.G.M.M., Eckel R.H., Grundy S.M., Zimmet P.Z., Cleeman J.I., Donato K.A., Fruchart J.-C., James W.P.T., Loria C.M., Smith S.C. Jr. Harmonizing the Metabolic Syndrome: A Joint Interim Statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity. *Circulation*, 2009, vol. 120, no. 16, pp. 1640–1645. DOI: [10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644)
14. LeSuer D.A., McCormick J.H., Mayhew J.L., Wasserstein R.L., Arnold M.D. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift. *J. Strength Condit. Res.*, 1997, vol. 11, no. 4, pp. 211–213.
15. Williams N. The Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) Scale. *Occup. Med.*, 2017, vol. 67, no. 5, pp. 404–405. DOI: [10.1093/occmed/kqx063](https://doi.org/10.1093/occmed/kqx063)
16. Tanaka D., Suga T., Tanaka T., Kido K., Honjo T., Fujita S., Hamaoka T., Isaka T. Ischemic Preconditioning Enhances Muscle Endurance During Sustained Isometric Exercise. *Int. J. Sports Med.*, 2016, vol. 37, no. 8, pp. 614–618. DOI: [10.1055/s-0035-1565141](https://doi.org/10.1055/s-0035-1565141)
17. Behrens M., Zschorlich V., Mittlmeier T., Bruhn S., Husmann F. Ischemic Preconditioning Did Not Affect Central and Peripheral Factors of Performance Fatigability After Submaximal Isometric Exercise. *Front. Physiol.*, 2020, no. 11. Art. no. 371. DOI: [10.3389/fphys.2020.00371](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00371)
18. Nir R.-R., Yarnitsky D. Conditioned Pain Modulation. *Curr. Opin. Support. Palliat. Care*, 2015, vol. 9, no. 2, pp. 131–137. DOI: [10.1097/SPC.0000000000000126](https://doi.org/10.1097/SPC.0000000000000126)
19. Schroeder C.A. Jr., Lee H.T., Shah P.M., Babu S.C., Thompson C.I., Belloni F.L. Preconditioning with Ischemia or Adenosine Protects Skeletal Muscle from Ischemic Tissue Reperfusion Injury. *J. Surg. Res.*, 1996, vol. 63, no. 1, pp. 29–34. DOI: [10.1006/jsre.1996.0217](https://doi.org/10.1006/jsre.1996.0217)
20. Wilk M., Krzysztolik M., Jarosz J., Krol P., Leznicka K., Zajac A., Stastny P., Bogdanis G.C. Impact of Ischemic Intra-Conditioning on Power Output and Bar Velocity of the Upper Limbs. *Front. Physiol.*, 2021, no. 12. Art. no. 626915. DOI: [10.3389/fphys.2021.626915](https://doi.org/10.3389/fphys.2021.626915)
21. Cruz R.S., Pereira K.L., Lisboa F.D., Caputo F. Could Small-Diameter Muscle Afferents Be Responsible for the Ergogenic Effect of Limb Ischemic Preconditioning? *J. Appl. Physiol. (1985)*, 2017, vol. 122, no. 3, pp. 718–720. DOI: [10.1152/jappphysiol.00662.2016](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00662.2016)

22. Angius L., Crisafulli A., Hureau T.J., Broxterman R.M., Amann M., Incognito A.V., Burr J.F., Millar P.J., Jones H., Thijssen D.J., Patterson S.D., Jeffries O., Waldron M., Silva B.M., Lopes T.R., Vianna L.C., Smith J.R., Copp S.W., Van Guilder G.P., Zuo L., Chuang C.-C. Commentaries on Viewpoint: Could Small-Diameter Muscle Afferents Be Responsible for the Ergogenic Effect of Limb Ischemic Preconditioning? *J. Appl. Physiol. (1985)*, 2017, vol. 122, no. 3, pp. 721–725. DOI: [10.1152/japplphysiol.00030.2017](https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00030.2017)

23. McNulty P.A., Macefield V.G., Taylor J.L., Hallett M. Cortically Evoked Neural Volleys to the Human Hand Are Increased During Ischaemic Block of the Forearm. *J. Physiol.*, 2002, vol. 538, no. 1, pp. 279–288. DOI: [10.1113/jphysiol.2001.013200](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.013200)

24. Madias J.E. Effect of Serial Arm Ischemic Preconditioning Sessions on the Systemic Blood Pressure of a Normotensive Subject. *Med. Hypotheses*, 2011, vol. 76, no. 4, pp. 503–506. DOI: [10.1016/j.mechy.2010.12.002](https://doi.org/10.1016/j.mechy.2010.12.002)

25. Baffour-Awuah B., Dieberg G., Pearson M.J., Smart N.A. The Effect of Remote Ischaemic Conditioning on Blood Pressure Response: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Cardiol. Hypertens.*, 2021, vol. 8. Art. no. 100018. DOI: [10.1016/j.ijchy.2021.100081](https://doi.org/10.1016/j.ijchy.2021.100081)

26. Pires N.F., Coelho-Júnior H.J., Gambassi B.B., de Faria A.P.C., Ritter A.M.V., de Andrade Barboza C., Ferreira-Melo S.E., Rodrigues B., Júnior H.M. Combined Aerobic and Resistance Exercises Evokes Longer Reductions on Ambulatory Blood Pressure in Resistant Hypertension: A Randomized Crossover Trial. *Cardiovasc. Ther.*, 2020, vol. 2020. Art. no. 8157858. DOI: [10.1155/2020/8157858](https://doi.org/10.1155/2020/8157858)

27. Machado M.V., Barbosa T.P.C., Chrispino T.C., Junqueira das Neves F., Rodrigues G.D., Soares P.P.D.S., da Nóbrega A.C.L. Cardiovascular and Autonomic Responses After a Single Bout of Resistance Exercise in Men with Untreated Stage 2 Hypertension. *Int. J. Hypertens.*, 2021, vol. 2021. Art. no. 6687948. DOI: [10.1155/2021/6687948](https://doi.org/10.1155/2021/6687948)

28. Billah M., Ridiandries A., Allahwala U., Mudaliar H., Dona A., Hunyor S., Khachigian L.M., Bhindi R. Circulating Mediators of Remote Ischemic Preconditioning: Search for the Missing Link Between Non-Lethal Ischemia and Cardioprotection. *Oncotarget*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 216–244. DOI: [10.18632/oncotarget.26537](https://doi.org/10.18632/oncotarget.26537)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z099

Vadim V. Sverchkov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

Evgeniy V. Bykov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*The Urals State University of Physical Culture
(Chelyabinsk, Russian Federation)

INFLUENCE OF ISCHEMIC PRECONDITIONING BEFORE EXERCISE ON PERFORMANCE AND BLOOD PRESSURE IN MEN WITH METABOLIC SYNDROME

Remote ischemic preconditioning has been demonstrated in many studies to produce a positive effect on muscle performance as well as on short-term and long-term blood pressure adaptive responses. The **aim** of this paper was to study the effect of remote ischemic preconditioning performed before strength exercise on perceived exertion, performance levels, and arterial pressure in individuals with metabolic syndrome. **Materials and methods.** The study involved 30 non-exercising men (mean age 35.2 ± 6.4 years) with metabolic syndrome. The participants were divided into three groups: ischemic preconditioning + resistance training; placebo + resistance training; resistance training. We assessed the level of perceived exertion, number of repetitions in a set, as well as average and total training volume before and after the intervention (ischemic preconditioning or placebo). Systolic, diastolic and mean arterial pressure were measured before the intervention (T0), immediately after the intervention and exercise (T1), 15 min (T2) and 30 min (T3) after exercise. **Results.** We found that after

the intervention the level of perceived exertion was statistically significantly lower, while the average number of repetitions in a set and average and total training volume were higher in the group “ischemic preconditioning + resistance training” compared to the other two groups ($p < 0.05$). In addition, we observed a more pronounced decrease in systolic and mean arterial pressure in dynamics from T0 to T3 in the group “ischemic preconditioning + resistance training” compared to the other two groups ($p < 0.05$). Thus, remote ischemic preconditioning used before resistance training can reduce perceived exertion, increase total training volume, and lead to more pronounced post-exercise hypotension in individuals with metabolic syndrome.

Keywords: *exercise tolerance, ischemic preconditioning, Borg scale, perceived exertion, post-exercise hypotension, men with metabolic syndrome.*

Поступила 30.12.2021

Принята 05.05.2022

Received 30 December 2021

Accepted 5 May 2022

Corresponding author: Vadim Sverchkov, *address:* ul. Ordzhonikidze 1, Chelyabinsk, 454091, Russian Federation; *e-mail:* Vadim.sverchkov@yandex.ru

For citation: Sverchkov V.V., Bykov E.V. Influence of Ischemic Preconditioning Before Exercise on Performance and Blood Pressure in Men with Metabolic Syndrome. *Journal of Medical and Biological Research*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 132–142. DOI: 10.37482/2687-1491-Z099