

DOI 10.31392/NPU-nc.series 15.2021.3K(131).16
УДК 612.015:796.072.2

Вдовенко Н.В.,
кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту, Київ
Осипенко Г.А.,
кандидат біологічних наук, доцент, Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ
Россоха Г.В.
молодший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту,

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА КОРЕКЦІЇ АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ В ОРГАНІЗМІ СПОРТСМЕНІВ ПІД ЧАС НАПРУЖЕНОЇ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Пізнання закономірностей роботи антиоксидантної системи створює передумови для вивчення і реалізації можливостей дії на ці механізми з метою корекції різного роду як патологічних станів організму, так і станів, що обумовлені фізичними навантаженнями. Питання пошуку, розробки засобів і методів підвищення фізичної працездатності продовжують залишатися одним із самих актуальних питань в теорії і практиці спортивного тренування. Об'єктивною передумовою для вибору засобів такої корекції повинно бути глибоке знання фізіологічних і метаболічних факторів, які лімітують фізичну працездатність і лежать в основі адаптації до фізичних навантажень. Однією із особливостей адаптаційного процесу є посилення у тканинах реакцій вільнорадикального окиснення, котрі знаходяться під контролем складного захисного механізму – антиоксидантної системи. Зниження її захисного потенціалу за умов напруженої м'язової діяльності може призвести до цілого ряду порушень і пошкоджень, які здатні стати причиною зниження фізичної працездатності. Таким чином, як свідчить аналіз наукової літератури, це питання вивчено ще недостатньо, у зв'язку з чим необхідно проведення подальших наукових досліджень у даному напрямку.

Ключові слова: спортсмен, антиоксиданти, вільні радикали, фізичні навантаження, окисний стрес.

Вдовенко Н., Осипенко А., Россоха Г. Особенности функционирования и коррекции антиоксидантной системы в организме спортсменов при напряженной мышечной деятельности. Познание закономерностей работы антиоксидантной системы создает предпосылки для изучения и реализации возможностей воздействия на эти механизмы с целью коррекции различного рода как патологических состояний организма, так и состояний, обусловленных физическими нагрузками. Вопрос поиска, разработки средств и методов повышения физической работоспособности продолжают оставаться одним из самых актуальных вопросов в теории и практике спортивной тренировки. Объективной предпосылкой для выбора средств такой коррекции должно быть глубокое знание физиологических и метаболических факторов, лимитирующих физическую работоспособность и лежат в основе адаптации к физическим нагрузкам. Одной из особенностей адаптационного процесса является усиление в тканях реакций свободнорадикального окисления, которые находятся под контролем сложного защитного механизма – антиоксидантной системы. Снижение ее защитного потенциала в условиях напряженной мышечной деятельности может привести к целому ряду нарушений и повреждений, которые способны стать причиной снижения физической работоспособности. Таким образом, как показывает анализ научной литературы, этот вопрос изучен еще недостаточно, в связи с чем необходимо проведение дальнейших научных исследований в данном направлении.

Ключевые слова: спортсмен, антиоксиданты, свободные радикалы, физические нагрузки, окислительный стресс.

Vdovenko Nataliia, Osipenko Anna, Rossokha Galina Features of the functioning and correction of the antioxidant system in athletes during intense physical loads. During muscle activity, with the increase in oxygen consumption in the cells, the formation of free radicals increases significantly, which ultimately leads to the activation of lipid peroxidation processes. A sufficient number of facts have been accumulated that testify to the important role of the antioxidant system in the body in counteracting the dangerous for it significant strengthening of lipid peroxidation processes, in ensuring its normal functioning, including high physical performance. In this regard, knowledge of the laws of the antioxidant system creates the preconditions for the possible regulation of this system in order to correct various pathological conditions of the body, or those caused by intense physical and psychophysiological stress.

Questions of search, development of means and methods of increase of physical working capacity continue to remain one of the most actual questions in the theory and practice of sports training. In this case, the objective prerequisite for the choice of means of such correction should be knowledge of physiological and metabolic factors that limit physical performance and underlie the adaptation to physical activity. One of the features of the adaptation process is the intensification of free radical oxidation reactions in tissues, which are under the control of a complex protective mechanism - antioxidant system. A decrease in its protective potential under conditions of intense muscular activity can lead to the manifestation at the level of tissues, cells, subcellular structures and molecules of a number of disorders and injuries that can lead to reduced physical performance of athletes and loss of health. Our analysis of the scientific literature shows that these issues are insufficiently studied, so it is necessary to conduct further research.

Key words: athlete, antioxidants, free radicals, physical activity, oxidative stress.

Постановка проблеми. Процес вільнорадикального окиснення в клітинах організму являє собою ланцюг реакцій, що приводить до утворення атомів або груп атомів, котрі мають на своїй зовнішній орбіталі один або більше неспарених електронів і тому являються досить хімічно активними. Прикладом таких радикалів є супероксидний (O_2^-), гідроксильний (OH^\cdot), семіхінонний (Q^\cdot), гіпохлоритний (OCl^\cdot) та інші радикали, з яких два перших є найбільш активними. Вони можуть взаємодіяти з ненасиченими жирними кислотами клітинних мембран з утворенням нових вільних радикалів, що ініціюють подальший ланцюг реакцій, який називається перекисним окисненням ліпідів (ПОЛ) [2, с. 11; 7, с. 397; 12, с. 4810].

Реакції вільнорадикального окиснення постійно проходять з низькою інтенсивністю у всіх тканинах організму, що являє собою фізіологічно закономірне явище, оскільки невеликі концентрації гідроперекисей беруть участь у регуляції клітинного метаболізму. Проте під впливом різних факторів середовища (гіпоксії, високих температур, фізичних навантажень, хвороби тощо) синтез активних форм кисню (АФК) значно зростає, що зумовлює розвиток так названого окисного стресу (ОС) [10, с. 219; 15, с. 27, 19, с. 694]. ОС проявляється в організмі тоді, коли не справляються протидіючі утворенню АФК ферментні антиоксидантні системи (АОС).

У здоровому організмі людини у стані відносного спокою АОС легко справляється з утвореними вільними радикалами [1, с. 24; 23, с. 886; 24, с. 171]. Під час м'язової діяльності з підвищенням споживання кисню у клітинах значно збільшується утворення вільних радикалів, що, в кінцевому рахунку, призводить до активації процесів ПОЛ [3, с. 49; 4, с. 222; 10, с. 224]. Якщо утворення вільних радикалів під їх атаку на клітинні і субклітинні структури в активно функціонуючих клітинах виходить із-під контролю, то це може призвести до виникнення різного роду функціональних порушень, що будуть негативно впливати на фізичну працездатність [3, с. 50; 13, с. 4; 14, с. 1530].

На теперішній час накопичено достатню кількість фактів, що свідчать про важливу роль антиоксидантної системи в організмі у протидії небезпечному для нього значного посилення процесів ПОЛ, у забезпеченні його нормального функціонування, у тому числі і високої фізичної працездатності. У зв'язку з цим, стає очевидним, що знання закономірностей дії антиоксидантної системи створює передумови для можливої регуляції роботи цієї системи з метою корекції різного роду патологічних станів організму, чи тих, що зумовлені високоінтенсивними фізичними та психофізіологічними навантаженнями.

Зв'язок дослідження із науковими планами, темами. Дослідження проведено в межах наукових тем «Контроль та корекція метаболізму за умов інтенсивних фізичних навантажень» та 2.8 «Взаємозв'язок соматичних, вісцеральних та сенсорних систем у кваліфікованих спортсменів на різних етапах підготовки».

Мета дослідження – проаналізувати дані сучасної наукової літератури щодо особливостей функціонування та можливостей корекції антиоксидантної системи тканин організму спортсменів під час м'язової діяльності.

Методи досліджень: теоретичний аналіз та узагальнення даних сучасної наукової літератури і власних досліджень.

Результати та їх обговорення.

У науковій літературі представлено достатню кількість даних, що свідчать про важливу роль стану антиоксидантної системи організму в забезпеченні фізичної працездатності [8, с. 7; 20, с. 102; 24, с. 171]. Відомо, що напружена м'язова діяльність викликає значне підсилення процесів ПОЛ у тканинах активно функціонуючих органів. Характер цих змін залежить від інтенсивності та тривалості фізичного навантаження і має тканинні особливості. Найбільше зниження загальної антиоксидантної активності відмічається у серці, де антиоксидантні механізми більш вразливі для продуктів, що утворюються в результаті підсилення вільнорадикальних реакцій в процесі дії на організм надмірних фізичних навантажень [2, с. 205, 3, с. 50–51]. Це, в свою чергу, приводить до підвищення фізіологічного навантаження на механізми антиоксидантного захисту в тканинах і викликає суттєві зміни функціонального стану їх окремих ланок.

Антиоксидантна система включає [1, с. 26–30; 9, с. 149; 22, с. 201; 23 с. 886]:

1. Ферменти-перехоплювачі вільних радикалів, такі як супероксиддисмутаза (СОД), дисмутуючу O_2 -до H_2O_2 , каталазу і глутатіонпероксидази (ГПО), які конвертують H_2O_2 до води. ГПО і глутатіон-S-трансфераза (GST) беруть участь у детоксикації гідропероксидів жирних кислот;

2. Гідрофільні сполуки, що здатні "гасити" вільні радикали (скевенджери) – відновлений глутатіон (GSH), аскорбат, урат, тіолі (цистеїн);

3. Ліпофільні перехоплювачі радикалів – токоферолі, флавоноїди, каротиноїди, убіхінон, білірубін;

4. Ферменти, що здійснюють відновлення окиснених низькомолекулярних біоантиоксидантів (глутатіонредуктаза) або беруть участь у підтримці білкових тіолів (тіоредоксінредуктаза) у функціонально активному стані;

5. Ферменти, що беруть участь у підтриманні внутрішньоклітинного стаціонарного рівня відновлювальних еквівалентів (глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа, що каталізує утворення НАДФН у пентозофосфатному шляху окиснення глюкози);

6. Антиоксидантні білки (церулоплазмін, альбумін, ферритин, трансферин, лактоферин тощо), які беруть участь у зберіганні, транспорті або знешкодженні іонів металів перемінної валентності.

Інтерес до антиоксидантів почав проявлятися після того, як було виявлено утворення вільних радикалів під час фізичних навантажень. Антиоксиданти – це поліфункціональні речовини, що приймають участь у різних типах обміну речовин, синтезі та перетворенні біологічно активних метаболітів, здатні перешкоджати окисненню активних хімічних речовин у клітинах організму людини, забезпечують активність універсальної регулюючої системи, перешкоджають накопиченню токсичних продуктів окиснення. Існують різні класифікації антиоксидантів [11, с. 2869; 15, с. 1353].

На основі фізико-хімічних властивостей їх поділяють на:

- жиророзчинні, до яких відносяться вітаміни групи Е (токоферолі), вітамін А (ретинол), ряд фосфоліпідів, зокрема фосфатидилхолін і фосфатидилетаноламін, вітаміни групи К (філохіноні), білірубін, білівердин, убіхінон, деякі стероїдні гормони;

- водорозчинні, до яких відносяться низько- і високомолекулярні сполуки, що містять SH-групи, зокрема амінокислоти цистеїн, цистин, глутатіон; моно-, ди- і трикарбонові кислоти та інші аніони, що зв'язують залізо, а також тироксин, адреналін, нікотинова кислота, інозин, вітаміни групи Р, сечовина.

За походженням антиоксиданти поділяються на:

- природні,
- синтетичні.

За механізмом дії антиоксиданти поділяються на:

- антирадикальні інгібітори;
- антиоксидантні ферменти та їх активатори;
- блокатори утворення вільних радикалів.

Найбільш оптимальною, на наш погляд, можна вважати класифікацію антиоксидантів, у якій виділяється група ферментативних і неферментативних речовин, що представлена в роботі D.V. Ratnam et al. (рис. 1) [22, с. 201].

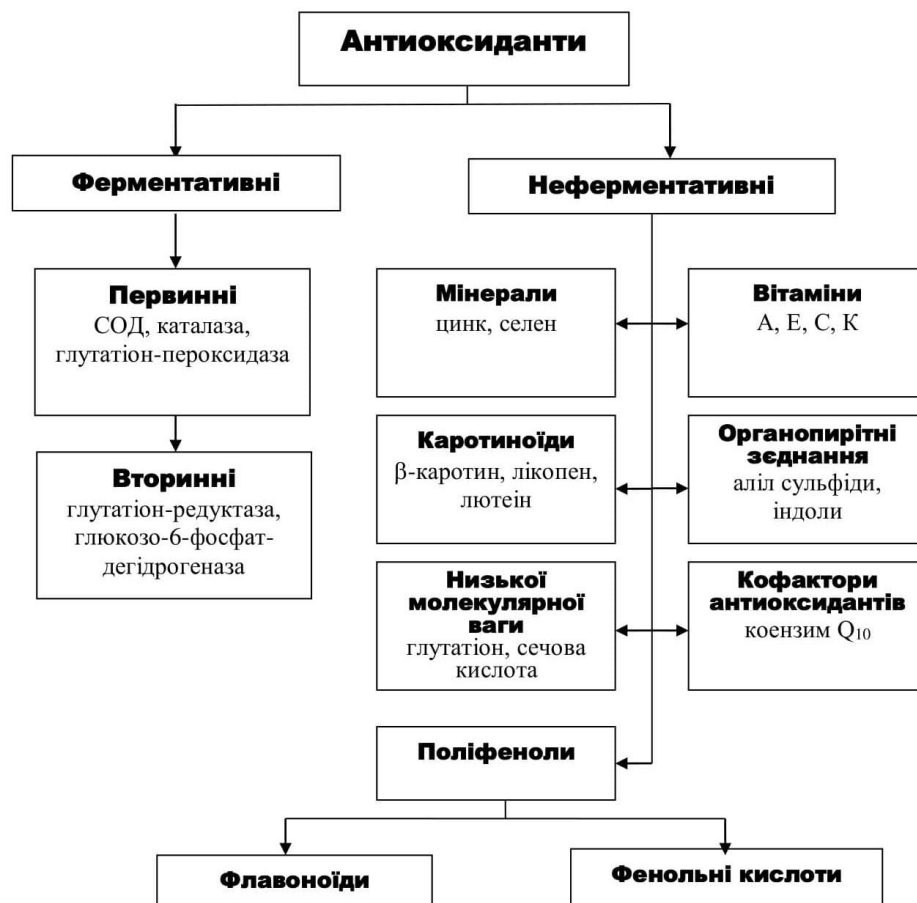


Рис. 1. Класифікація антиоксидантів, згідно даних D.V. Ratnam et al. [22, с. 201]

Використання окремих антиоксидантів та їх комплексів дозволяє попередити прояви небажаних наслідків реакцій вільно радикального окиснення та сприяти підвищенню резистентності організму до значних фізичних навантажень. З урахуванням цього, логічно очікувати, що профілактичне використання засобів корекції стану антиоксидантної системи напередодні виконання інтенсивних і довготривалих навантажень буде сприяти зменшенню пошкоджуючого впливу АФК та покращувати спортивну діяльність.

Для спортсменів конкретної спеціалізації важливо вибрати ефективний антиоксидант та підібрати її концентрацію, так як відомо, що багато антиоксидантів або речовин, що мають антиоксидантні властивості, в одних концентраціях проявляють антиоксидантну дію, а в інших – прооксидантну дію [5, с. 94; 6, с. 15; 21, с. 11]. В оглядовій статті Taherkhani S. et al., 2020 [23, с. 886] показано неоднозначність впливу прийому антиоксидантів та їх комплексів спортсменами для зменшення ОС та вмісту запальних цитокінів. Для остаточного вирішення таких питань необхідні дослідження, у яких би враховувалися ряд факторів, а саме: рівень тренуваності спортсмена, його кваліфікацію, стан здоров'я, а також чітко прописані характеристики фізичного навантаження (об'єм, інтенсивність, тривалість тощо).

Під впливом систематичного і вірно спланованого тренування, поряд з підвищенням стійкості організму до напруженої м'язової діяльності, покращуються і функціональні можливості його антиоксидантної системи [4, 223; 16, с. 1353]. Встановлено, що адаптованість до різних за інтенсивністю і тривалістю фізичних навантажень (робота в зонах різної потужності) обумовлена визначеним співвідношенням інтенсивності процесів ПОЛ і станом антиоксидантної системи організму. Так, адаптація до фізичних

навантажень, що потребує прояву швидкісно-силових якостей, характеризується підвищенням в крові інтенсивності ПОЛ і антиоксидантної активності зі зміщенням їх співвідношення в сторону збільшення інтенсивності ПОЛ.

Адаптація ж до м'язової діяльності, що пов'язана з проявом витривалості, проявляється в зниженні інтенсивності ПОЛ і збільшення рівня антиоксидантної активності зі зміщенням їх співвідношення в сторону збільшення антиоксидантної активності організму [10, с. 220; 23, с. 886]. Виявлені зміни обумовлені особливостями метаболізму при різних за характером фізичних навантажень.

Якщо на організм діє будь-який стресовий чинник, то розвивається стрес-реакція, котра завжди супроводжується короткочасним збільшенням кількості АФО. При адаптації організму до екстремальних умов АФО відіграють роль вторинних менеджерів, які беруть участь у передачі сигнальної трансдукції, в експресії ряду генів (проліферації, диференціюванні тощо). Це приводить до активації факторів транскрипції (AP-1, NF-KB) та відповідних генів, що кодують ферменти-антиоксиданти, зокрема СОД. Паралельно спостерігається підвищення ПОЛ. Відомо, що ПОЛ посідає одне з ключових місць у процесах сигнальної трансдукції, котрі визначають можливість виживання клітини або її загибель у стресових ситуаціях [2, с. 105; 17, с. 75]. Ступінь прояву руйнівної дії АФО у тканинах залежить від потенційних можливостей організму щодо мобілізації антиоксидантного захисту. Швидке відновлення організму після стресової реакції, що супроводжується ОС, зумовлене вчасною мобілізацією систем антиоксидантного захисту. Якщо ОС більш виражений, концентрація утворених АФО може підвищуватись у декілька разів. За цих умов починає проявлятися токсична дія АФО, що супроводжується посиленням процесів окисної деструкції ліпідів, білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів, проявом генотоксичних ефектів, активацією ряду протоонкогенів. Порушується процес мобілізації антиоксидантного захисту, спостерігається запрограмована загибель клітин завдяки включенню програми «апоптоз». Прояв токсичної дії вільнорадикальних продуктів призводить до структурних і метаболічних порушень у клітинах із подальшим некрозом [2, с. 222; 23, с. 886].

За умов інтенсивних фізичних навантажень у тварин та людей закономірно знижується концентрація АТФ та КФ у скелетних м'язах, активується гліколіз, значно підвищується рівень лактату та зменшується величина рН в крові. Однією з можливих причин недостатньої потужності системи аеробного ресинтезу АТФ, що лежить в основі згаданих вище зрушень, є пошкодження клітинних, перш за все мітохондріальних мембран. Доведено, що ці пошкодження виникають у процесі максимальних фізичних навантажень і виявляються деструкцією зовнішньої мембрани і крист мітохондрій, а також ферментемією – збільшенням виходу цитозольних ферментів крізь плазматичну мембрану в кров [23, с. 886].

Порушення структури мітохондріальних мембран за умов екстремальних фізичних навантажень, що приводить до зміни її енергоутворюючої функції, може викликатися двома причинами. Перша причина полягає в тому, що у результаті гіпоксемії та тканинної гіпоксії відбувається активація ПОЛ в мітохондріях, що порушує процеси окисного фосфорилування, тобто утворення АТФ. Друга причина – зниження величини рН у тканинах, що запускає механізми активації фосфоліпаз та ПОЛ, переключає окиснення НАДН на так званий зовнішній шлях і, тим самим, суттєво знижує ефективність використання енергетичних субстратів та кисню у процесі синтезу АТФ. Це означає, що одним із шляхів підвищення ефективності окисного фосфорилування у мітохондріях за умов фізичних навантажень, а отже, і переносимості їх, може бути використання антиоксидантів. Їх мембранопротекторний ефект буде сповільнювати розвиток пошкодження мітохондрій під час інтенсивних фізичних навантажень та зниження концентрації АТФ і КФ, а також зменшувати ступінь активації гліколізу та підвищення концентрації лактату до критичного рівня, на який організм реагує відмовою від роботи.

Безпосередніми наслідками активації ПОЛ та виснаження антиоксидантної системи організму спортсменів є стан перетренованості та зниження спортивної (загальної та спеціальної) працездатності [3, с. 51; 18, с. 27]. Таким чином, розвиток ОС і виснаження антиоксидантної системи організму у спортсменів є несприятливим професійним чинником, який викликає розвиток цілого ряду патологічних станів, що часто зустрічаються у спортсменів високої кваліфікації і ветеранів спорту. Негативна роль ОС в розвитку патології серцево-судинної та нервової систем, у тому числі і у спортсменів, на сьогодні не викликає сумнівів.

Висновки. Питання пошуку і розробки засобів і методів підвищення фізичної працездатності продовжують залишатися одним із самих актуальних питань у теорії і практиці спортивного тренування. На теперішній час відома велика кількість різноманітних педагогічних, фізіологічних, фармакологічних і психологічних засобів і впливів, а також факторів харчування, які сприяють підвищенню ефективності м'язової діяльності. При цьому об'єктивно передумовою для вибору засобів такої корекції повинно бути знання фізіологічних і метаболічних факторів, що лімітують фізичну працездатність і лежать в основі адаптації до фізичних навантажень. Однією із особливостей адаптаційного процесу є посилення у тканинах реакцій вільно радикального окиснення, котрі знаходяться під контролем складного захисного механізму – антиоксидантної системи. Зниження її захисного потенціалу за умов напруженої м'язової діяльності може призвести до проявлення на рівні тканин, клітин, субклітинних структур і молекул цілого ряду порушень і пошкоджень, які можуть спричиняти зниження фізичної працездатності спортсменів та втрату здоров'я. Проведений нами аналіз наукової літератури свідчить про те, що ці питання вивчені недостатньо, тому необхідно проводити подальші наукові дослідження.

Література

1. Антиоксидантна система захисту організму (огляд) / [І.Ф. Беленічев, Є.Л. Левицький, Ю.І. Губський та ін.] // Совр. пробл. токсикол. – 2002. – №3. – С.24-31.
2. Барабой В. А. Окислительно-антиоксидантный гомеостаз в норме и патологии / В. А. Барабой, Д. А. Сутовой / под ред. Ю. А. Зозули. –К.: Черныбыльинтеринформ, 1997. – 420 с.
3. Вдовенко Н. В. Порушення метаболізму за умов активації пероксидного окиснення ліпідів під час м'язової діяльності / Н. В. Вдовенко, Г. А. Осипенко. // Актуальні проблеми фізичної культури і спорту. – 2012. – № 24 (2). – С. 49 – 52.
4. Влияние физической нагрузки на содержание глутатиона и продуктов перекисного окисления липидов в крови гребцов-академистов / В. Смольский, Л. Богачева, Н. Вдовенко, И. Маляренко Актуальні проблеми юнацького спорту. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2014. – С. 221–225.

5. Дослідження антиоксидантної здатності різних концентрацій вітамінів С, Е, селену, ліпоєвої кислоти в модельній системі жовтчастих ліпопротеїдів / Л.Г. Станкевич, І.І. Земцова, С.А. Олійник, Г.А. Осипенко // Актуальні проблеми фізичної культури і спорту. – 2004. – № 3. – С. 91 – 97.
6. Дослідження антиоксидантної здатності функціональної композиції та її складових у модельній системі "жовтчастий ліпопротеїд – Fe^{2+} " *in vitro* / Н. Вдовенко, А. Гусарова, Г. Осипенко, Г. Сєногенова // Актуальні проблеми фізичної культури і спорту. – 2017. – № 38 (1). – С. 13 – 16.
7. Дубинина Е.Е. Активные формы кислорода и их роль в развитии оксидативного стресса / Е. Е. Дубинина // Фундаментальные и прикладные аспекты современной биохимии: Сб. науч. тр. – 1998. – Т. 2. – С. 396 – 398.
8. Коваль І. Повышение эффективности тренировочной и соревновательной деятельности спортсменов посредством коррекции супероксиддисмутазного звена антиоксидантной системы: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. наук з фіз. вих. і спорту: спец. 24.00.01 "Олимпийский и профессиональный спорт" / Коваль Ілона – Киев, 2003. – 21 с.
9. Фармакология спорта / Горчакова Н. А., Гудивок Я. С. [и др.]; под общ. ред. С. А. Олейника, Л. М. Гуниной, Р.Д. Сейфуллы. – К.: Олимпийская литература, 2010. – 640 с.
10. Alessio H. M. Exercise-induced oxidative stress / H. M. Alessio // Med. Sci. Sports Exerc. – 1993. – Vol. 25. – P. 218–224.
11. Antioxidants in sport sarcopenia / M.M. Cesare, F. Felice, V. Santini, R. Di Stefano // Nutrients. – 2020. – Vol. 12(9). – P. 2869. doi: 10.3390/nu12092869.
12. Di Meo S. Physiological and pathological role of ROS: Benefits and limitations of antioxidant treatment / S. Di Meo, G. Napolitano, P. Venditti // Int. J. Mol. Sci. – 2019. – V. 20. – P. 4810.
13. Finkel T. Reactive oxygen species and signal transduction / T. Finkel // IUBMB Life. – 2001. – Vol. 52, № 1–2. – P. 3–6.
14. Girotti A. W. Lipid hydroperoxide generation, turnover, and effector action in biological systems / A. W. Girotti // J. Lipid Research. – 1998. – Vol. 39. – P. 1529–1542.
15. Halliwell B. Free radical in biology and medicine. / Halliwell B., Gutteridge J.M.C. – Oxford: Clarendon Press, 1989. – 346 p.
16. Impairment between Oxidant and Antioxidant Systems: Short- and Long-term Implications for Athletes' Health / [Nocella C., Cammisotto V., Pigozz F. et al.] // Nutrients. – 2019. – Vol. 11. – P. 1353.
17. Implication of relationship between oxidative stress and antioxidant status in blood serum / [Kajaia T., Maskhulia L., Chelidze K. et al.] // Georgian Med News. – 2018. – V. 284. – P. 71–76.
18. Lamprecht M. Antioxidants in sport nutrition / Manfred Lamprecht. – CRC Press, 2015. – 278 p.
19. Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases / [Sharifi-Rad M., Anil Kumar N.V., Zucca P. et al.] // Front. Physiol. – 2020. – Vol. 11. – P. 694. doi: 10.3389/fphys.2020.00694
20. Oxidative stress and aging. Role of exercise and its influences on antioxidant systems / [Ji L.L., Leeuwenburgh C., Leichtweis S. et al.] // Ann. N.Y. Acad. Sci. – 1998. – Vol. 854. – P. 102–117.
21. Poljsak B. Achieving the balance between ROS and antioxidants: when to use the synthetic antioxidants / B. Poljsak, D. Suput, I. Milisav // Oxidative medicine and cellular longevity. – 2013, 11. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1155/2013/956792>
22. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective / D. V. Ratnam, D. D. Ankola, V. Bhardwaj, D. K. Sahana // Journal of controlled release. – 2006. – V. 113. – P. 189–207.
23. Taherkhani S. A short overview of changes in inflammatory cytokines and oxidative stress in response to physical activity and antioxidant supplementation / S. Taherkhani, K. Suzuki, L. Castell. // Antioxidants. – 2020. – V. 9. – P. 886.
24. The effect of one year's swimming exercise on oxidant stress and antioxidant capacity in aged rats / [Gunduz F., Senturk U.K., Kuru O. et al.] // Physiol. Res. – 2004. – Vol. 53, № 2. – P. 171–176.

References

1. Byelenichev, I.F., Levyts'kyi, Y.L., Hubs'kyi, Y.I. et al. (2002). *Antyoksydantna systema zakhystu orhanizmu (ohlyad)*. Sovr. probl. toksykol. 3: 24–31.
2. Barabou, V., Sutkovou, D. (1997). *Okislitel'no-antioksidantnyy gomeostaz v norme i patologii: pod red. U. A. Zozuly. K.: Chernobyl'interinform; 420.* (in Russian)
3. Vdovenko, N., Osipenko, A. (2012). *Porushennya metabolizmu za umov aktivatsiyi peroksydnoho okysnennya lipidiv vo vremya m'yazovoyi diyalnosti*. Aktualni problemy fizychnoyi kultury i sportu. 24: 49–52. (in Ukrainian)
4. Smul'skiy, V., Bogacheva, L., Vdovenko, N., Malyarenko, I. (2014). *Vliyaniye fizicheskoy nagruzki na sodержaniye glutatona i produktov perekisnogo okisleniya lipidov v krovi grebtsov-akademistov. Aktualni problemi yunats'kogo sportu*. Kherson: PP Vishemir'skiy V.S.: 221–225. (in Russian)
5. Stankevych, L., Zemtsova, I., Oliynyk, S., Osypenko, H. (2004). *Doslidzhennya antyoksydantnoyi zdatsnosti riznikh kontsentratsiy vitaminiv C, E, selenu, lipoyevoyi kysloty v model'niy systeme zhovtochnikh lipoproteyidiv*. Aktualni problemy fizychnoyi kultury i sportu. 3: 91–97. (in Ukrainian)
6. Vdovenko, N., A. Husarova, H. Osypenko, H. Syenohonova (2017). *Doslidzhennya antyoksydantnoyi zdatsnosti funktsional'noyi kompozitsiyi ta ee skladovykh u model'niy systeme "zhovtkoviy lipoproteyid – Fe^{2+} " in vitro*. Aktualni problemy fizychnoyi kultury i sportu. 38 (1): 13–16. (in Ukrainian)
7. Dubinina, E. (1998). *Aktivnyye formy kisloroda i ikh rol' v razvitii oksidativnogo stressa*. Fundamental'nyye i prikladnyye aspekty sovremennoy biokhimii. 2: 396–398. (in Russian)
8. Koval, I. (2003). *Pidvyshchennya efektyvnosti trenuval'noyi i zmahal'noyi diyal'nosti sport-smeniv za dopomohoyu korektsiyi superoksidmutaznoy lanky antyoksydantnoyi systemy*: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupeniv kand.

наук з фіз. у їхн. і спорту: спets. 24.00.01 "Олімпійський спорт". К.: 21.

9. Gorchakova, N., Gudivok, Ya. et al. (2010). *Farmakologiya sporta*: pod obshch. red. S. Oleynika, L. Guninoy, R. Seyfully. K.: Olimpiyskaya literatura; 640. (in Russian)
10. Alessio, H. M. (1993). Exercise-induced oxidative stress. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 218–224.
11. Cesare, M., Felice, F., Santini, V., Di Stefan, R. (2020). Antioxidants in sport sarcopenia. *Nutrients.* 12(9): 2869. doi: 10.3390/nu12092869.
12. Di Meo, S., Napolitano, G., Venditti, P. (2019). Physiological and pathological role of ROS: Benefits and limitations of antioxidant treatment. *Int. J. Mol. Sci.* 20: 4810.
13. Finkel, T. (2001). Reactive oxygen species and signal transduction. *IUBMB Life.* 52(1–2): P. 3–6.
14. Girotti, A. W. (1998). Lipid hydroperoxide generation, turnover, and effector action in biological systems. *J. Lipid Research.* 39: 1529–1542.
15. Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. (1989). *Free radical in biology and medicine*. Oxford: Clarendon Press; 346.
16. Nocella, C., Cammisotto, V., Pigozz, F. et al. (2019). Impairment between Oxidant and Antioxidant Systems: Short- and Long-term Implications for Athletes' Health. *Nutrients.* 11: 1353.
17. Kajaia, T., Maskhulia, L., Chelidze, K. et al. (2018). Implication of relationship between oxidative stress and antioxidant status in blood serum. *Georgian Med News.* 284: 71–76.
18. Lamprecht, M. (2015). *Antioxidants in sport nutrition*. CRC Press; 278.
19. Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N.V., Zucca, P. et al. (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. *Front. Physiol.* 11: 694. doi: 10.3389/fphys.2020.00694
20. Ji, L.L., Leeuwenburgh, C., Leichtweis, S. et al. (1998). Oxidative stress and aging. Role of exercise and its influences on antioxidant systems. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 854: 102–117.
21. Poljsak, B., Suput, D., Milisav, I. (2013). Achieving the balance between ROS and antioxidants: when to use the synthetic antioxidants. *Oxidative medicine and cellular longevity.* 11. <https://doi.org/10.1155/2013/956792>
22. Ratnam, D. V., Ankola, D. D., Bhardwaj, V., Sahana, D. K. (2006). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of controlled release.* 113: 189–207.
23. Taherkhani, S., Suzuki, K., Castell, L. (2020). A short overview of changes in inflammatory cytokines and oxidative stress in response to physical activity and antioxidant supplementation. *Antioxidants.* 9: 886.
24. Gunduz, F., Senturk, U.K., Kuru, O. et al. (2004). The effect of one year's swimming exercise on oxidant stress and antioxidant capacity in aged rats. *Physiol. Res.* 53(2): 171–176.

DOI 10.31392/NPU-nc.series 15.2021.3K(131).17
УДК: 616.721.6.

Вихляев Ю.М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТРАКЦІЇ ХРЕБТА

Технічні засоби тракції хребта. Розглянуто конструктивні особливості технічних засобів, що використовують в різних способах сухого і підводного витягнення хребців та їх вплив на функціональний стан грудного, попереково-крижового та шийного сегментів хребта. Обґрунтовано переваги і недоліки сухого і підводного витягнення хребта, що в значній мірі залежать від умов навколишнього середовища, яке може сприяти або протидіяти розслабленню зв'язково-м'язових структур, що утримують хребці в належному функціональному стані. Проведене дослідження дозволило виявити переваги підводного витягнення хребта, що може здійснюватися за умови застосування нових простих пристроїв, що дозволяють утримувати тіло пацієнта на поверхні води і при цьому виконувати комплекси лікувальних вправ в щадних умовах водного середовища. Наслідком підводного витягнення з виконанням лікувальних вправ є усунення спастичних проявів, створення умов для збільшення відстані між хребцями, відновлення кровотоку, а відповідно і живлення різних структур хребта, покращення еластичності тканин, усунення защемлення нервових закінчень, що в свою чергу призводить до зникнення больових відчуттів і відновлення працездатності пацієнтів.

Ключові слова: розлади хребта, технічні засоби, суха, підводна тракція, вплив.

Вихляев Ю.Н. Технические средства тракции позвоночника. Рассмотрены конструктивные особенности технических средств, которые используют в разных способах сухой и подводной вытяжки позвонков и их влияние на функциональное состояние грудного, пояснично-крестцового и шейного сегментов хребта. Обоснованы преимущества и недостатки сухой и подводной вытяжки хребта, что в значительной степени зависят от условий окружающей среды, которая может способствовать или противодействовать расслаблению связочно-мышечных структур, которые удерживают позвонки в надлежащем функциональном состоянии. Проведенное исследование позволило выявить преимущества подводной вытяжки хребта, который может осуществляться при условии применения новых простых устройств, которые позволяют поддерживать тело пациента на поверхности воды и при этом выполнять комплексы лечебных упражнений в щадящих условиях водной среды. Следствием подводной вытяжки с одновременным выполнением лечебных упражнений является устранение спастических проявлений, создание условий для увеличения расстояния между позвонками, возобновления кровотока, а соответственно и питание разных структур хребта, улучшение эластичности тканей, устранение защемления нервных окончаний, что в свою очередь приводит к