

WPLYW ZMIAN CIŚNIENIA OTOCZENIA NA AKTYWNOŚĆ PEROKSYDAZY GLUTATIONOWEJ (GPX) I KATALAZY (CAT) WE KRWI NURKÓW – BADANIA WSTĘPNE

THE EFFECT OF AMBIENT PRESSURE CHANGES ON THE ACTIVITY OF GLUTATHIONE PEROXIDASE (GPX) AND CATALASE (CAT) IN THE BLOOD DIVERS – PRELIMINARY RESULTS

Adrian Włodarski, Alina Woźniak, Celestyna Mila-Kierzenkowska, Paweł Sutkowy

Zmiana warunków otoczenia jest stresem dla organizmu, który może prowadzić do wzmożonej generacji reaktywnych form tlenu i licznych uszkodzeń w obrębie komórek. Istotną rolę w przeciwdziałaniu tym uszkodzeniom pełnią enzymy antyoksydacyjne. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu zmian ciśnienia otoczenia w warunkach nurkowania na aktywność peroksydazy glutationowej oraz katalazy.

W badaniu wzięło udział 11 płetwonurków w wieku od 18 do 41 lat. Badani spędzili 40 min w jeziorze, w wodzie o temperaturze 13° C, schodząc maksymalnie na głębokość około 9 m. Podczas zanurzenia wszyscy oddychali powietrzem. Krew do badań pobrano z żyły odłokciowej dwukrotnie: przed zanurzeniem w wodzie (kontrola) oraz bezpośrednio po wynurzeniu.

W pracy wykazano tendencję do wzrostu aktywności katalazy oraz tendencję do obniżania się aktywności peroksydazy glutationowej, ale zmiany te nie były istotne statystycznie. Ciśnienie otoczenia wywierane przez wodę podczas nurkowania nie ma istotnego wpływu na aktywność peroksydazy glutationowej oraz katalazy w erytrocytach. Może to sugerować, że nie doszło do zwiększonej generacji nadtlenu wodoru będącego substratem reakcji katalizowanych przez oba enzymy. Brak istotnych statystycznie zmian aktywności badanych enzymów antyoksydacyjnych może być efektem zmian przystosowawczych w organizmie osób nurkujących.

Słowa kluczowe: ciśnienie, nurkowanie, peroksydaza glutationowa, katalaza.

The changes in ambient conditions are usually stress factor for the organism, which may lead to increased generation of reactive oxygen species and numerous damages within the cells. The important role in counteracting of free radical damages to cells is played by antioxidant enzymes. The aim of this study was to determine the impact of changes in ambient pressure during diving on activity of selected antioxidant enzymes: glutathione peroxidase and catalase .

The study involved eleven divers, aged from 18 to 41 years. Subjects spent 40 minutes in the lake, in water at 13° C, going down to a depth of about 9 m. All divers breathe with the air. Blood samples were taken from basilica vein twice: before immersion in water (control) and immediately after surfacing.

The study showed an increasing trend in catalase activity and trend to decrease in glutathione peroxidase activity, but the changes were not statistically significant. Ambient pressure exerted by the water during diving has no significant effect on the activity of glutathione peroxidase and catalase in erythrocytes. This may suggest, that there was no increased generation of hydrogen peroxide which is a substrate of the reaction catalyzed by two enzymes. No statistically significant differences in the activity of antioxidant enzymes could be due to adaptive changes in the body of divers.

Keywords: pressure, diving, glutathione peroxidase, catalase.

ISSN 1734 – 7009, EISSN 2084 – 0535, PHR 2013 1(42), 7 – 26

NR DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.42.1](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.42.1)

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

WSTĘP

Powszechnie wiadomo, że tlen jest pierwiastkiem niezbędnym do życia. Organizmy tlenowe wykorzystują ten pierwiastek w procesach oddychania komórkowego, które jest źródłem energii koniecznej do funkcjonowania oraz podtrzymywania procesów życiowych [9]. Ten sam życiodajny tlen jest jednak również źródłem reaktywnych form tlenu (RFT), które w pewnych warunkach wywierają szkodliwy wpływ na organizm [24]. RFT są wytwarzane przez każdą komórkę organizmu, a ich stężenie zmienia się pod wpływem zarówno czynników endogennych jak i egzogennych m.in.: procesu oddychania komórkowego, palenia tytoniu, czy też promieniowania jonizującego [8]. Zakłada się, że zdrowy ludzki organizm jest w stanie wytworzyć do 2 kg samego anionorodnika ponadtlenkowego rocznie [30]. Wykazano, że każda komórka przeciętnego 20- latka narażona jest na około 100 tysięcy ataków RFT dziennie, których liczba w wieku 75 lat wzrasta trzykrotnie [2]. W warunkach prawidłowych istnieje homeostaza między wytwarzaniem a usuwaniem reaktywnych form tlenu.

W sytuacji zaburzenia równowagi oksydacyjno - antyoksydacyjnej w kierunku nasilenia reakcji utleniania dochodzi do stresu oksydacyjnego. Przyczyną jego powstawania jest nagły wzrost liczby RFT lub obniżenie się zdolności antyoksydacyjnych [10]. Wzmógłony oraz długo utrzymujący się stres oksydacyjny powoduje trwałe uszkodzenia komórek, co prowadzi do szkodliwych zmian w metabolizmie komórkowym.

Uważa się, że RFT mają istotne znaczenie w patogenezie wielu chorób [18, 27, 29]. Na niszczące działanie stresu oksydacyjnego są szczególnie narażone lipidy błonowe, białka oraz kwasy nukleinowe. Istnieją jednak w komórkach mechanizmy obronne zapobiegające uszkodzeniom lub naprawiające szkody wywołane przez RFT [3]. Utrzymanie równowagi oksydacyjno - antyoksydacyjnej zapewnia układ antyoksydacyjny, którego zadaniem jest usuwanie RFT. W jego skład wchodzi m.in. enzymy antyoksydacyjne, do których należą dysmutaza ponadtlenkowa (SOD), peroksydaza glutationowa (GPx) i katalaza (CAT) [13]. Enzymy antyoksydacyjne reagują na zmianę warunków otoczenia, która jest stresem dla organizmu potwierdzonym przez liczne badania. Wykazano, że wzmógłona generacja wolnych rodników tlenowych występuje m.in. podczas wysiłku fizycznego [19], zwiększonej emisji promieniowania elektromagnetycznego [6], działania pestycydów [15], oddziaływania zimna na organizm [32], nasilonego wpływu promieniowania UV [7] oraz hałasu [38].

Człowiek w warunkach nurkowania narażony jest na oddziaływanie podwyższonego ciśnienia, które wpływa na percepcję oraz wywołuje w organizmie liczne reakcje, szczególnie w układzie krążeniowo - oddechowym [22]. Nie tylko ciśnienie wpływa jednak na organizm człowieka znajdującego się pod wodą. Z nurkowaniem wiąże się także aktywność fizyczna oraz wysoka dostępność tlenu, która związana jest ze zjawiskiem hiperoksji, występującej zależnie od procentowej zawartości tlenu w mieszaninie oddechowej, którą oddycha nurek. Aktywność fizyczna z kolei wywołuje większe zużycie tlenu, któremu towarzyszy nasilenie generacji WRT w łańcuchu oddechowym.

Większa dostępność i bardziej intensywne zużycie tlenu oraz otaczające nurka ciśnienie mogą powodować podwyższoną generację RFT i zwiększać ryzyko wystąpienia stresu oksydacyjnego [12, 34]. O ile wiadomo już jak wpływa ciśnienie na pracę układów i narządów, tak nadal niewiele jest badań dotyczących wpływu ciśnienia na system antyoksydacyjny, szczególnie u osób nurkujących w naturalnych warunkach środowiskowych. Wydaje się więc interesującym pomysłem poszerzenie badań w tym zakresie.

INTRODUCTION

It is common knowledge that oxygen is a life sustaining element. Aerobic organisms use this element for the processes of cellular respiration which is a source of energy requisite for sustaining life. However, the very same life-giving element can become a source of reactive oxygen species (ROS), which may have a detrimental effect on the organism in certain circumstances.

ROS are generated by each and every cell of an organism and their concentration changes conditionally under the influence of both endogenous, as well as exogenous factors, such as the process of cellular respiration, smoking tobacco or ionizing radiation [8]. It is assumed that a healthy human body is capable of generating up to 2kg of superoxide anion radical itself over the period of one year [30]. It has been proved that a cell in the body of an average 20-year-old is prone to 100,000 ROS attacks daily, a number that is multiplied threefold by the age of 75 [2]. In normal conditions there is homeostasis between generation and removal of reactive oxygen species. When the oxidant/antioxidant balance is disrupted, with the former being more prominent, there occurs an oxidative stress. The causes of this condition lie in an increased number of ROS or a decline in the anti-oxidizing properties [10]. Intense and long-lasting oxidative stress may cause permanent cell damage, which leads to harmful alterations in cell metabolism. It is believed that ROS are a key factor in the pathogenesis of many diseases [18, 27, 29]. The destructive force of the oxidative stress is most detrimental to lipid membranes, proteins and nucleic acids. However, cells are equipped with defensive mechanisms which prevent potential damage, or even repair the damage already inflicted by ROS [3]. The responsibility for maintaining the oxidant/antioxidant balance lies with an antioxidant system which removes ROS. It is comprised of antioxidant enzymes, such as superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT) [13].

Antioxidant enzymes react to changes in surrounding conditions, which causes stress to the organism. It has been proved that intense generating of free oxygen radicals takes place during physical activity [19], increased emissions of electromagnetic radiation [6], exposure to pesticides [15], exposure to cold [32], increased UV radiation [7], and noise [38].

During diving, a human being is exposed to increased pressure, which affects perception and provokes numerous reactions, especially in the respiratory cardiovascular system [22]. However, pressure is not the only factor that affects a human underwater. Additionally, diving is inextricably linked with physical activity and a greater availability of oxygen, which may lead to hyperoxia. The occurrence of this condition depends on the percentage of oxygen contained in a diver's gas mixture. Physical activity, on the other hand, leads to a greater consumption of oxygen, which in turn is accompanied by a more intense generation of free oxygen radicals in the respiratory chain. A greater availability and a more intense consumption of oxygen, along with the pressure that surrounds the diver, may cause the reactive oxygen species to be generated more profusely and thus increase the risk of oxidative stress [12, 34]. Whilst our knowledge on how pressure affects the functioning of body organs and systems is comprehensive, the research on how pressure affects the antioxidant system, especially in people who dive, has been scarce. It seems only natural to broaden the scope of interest in this area of study. The human body has been adapted to exist in the atmospheric environment, hence it may be assumed that submersion in water is a stress-inducing factor.

Ludzki organizm przystosowany jest do życia w środowisku atmosferycznym, dlatego można przypuszczać, że zanurzenie w wodzie będzie czynnikiem wywołującym stres. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu zmian ciśnienia otoczenia w warunkach nurkowania na aktywność wybranych enzymów antyoksydacyjnych: peroksydazy glutationowej i katalazy.

MATERIAŁ I METODY

W badaniu wzięło udział 11 płetwonurków w wieku od 18 do 41 lat (średnia wieku $32 \pm 6,7$ lat). Nurkowie to członkowie klubu nurkowego w Bydgoszczy. Wszyscy uczestnicy badania posiadali średnio około 4-letnie doświadczenie w nurkowaniu.

Nurkowanie odbyło się w jeziorze w miejscowości Czaplinek. Badani spędzili 40 min w wodzie o temperaturze 13°C , schodząc maksymalnie na głębokość około 9 m. Podczas zanurzenia wszyscy oddychali powietrzem. Przed wejściem do wody każdy z uczestników wypełnił anonimowy kwestionariusz osobowy. Charakterystykę grupy badanej opracowaną w oparciu o wypełnione kwestionariusze przedstawiono w Tab. 1.

Tabela 1.

Charakterystyka badanej grupy.

Nurkowie	
Liczba badanych [n]	11
Wiek [lata]	32 ± 6
BMI [kg/m^2]	25.8 ± 2.7
Staż nurkowania [lata]	3.8 ± 1.7
Przybliżona całkowita liczba nurkowań [n]	78.3 ± 25.5
Najczęstsza głębokość nurkowania [m]	11.6 ± 5.2
Maksymalna głębokość nurkowania [m]	43 ± 7.7

Krew do badań pobrano od każdego badanego przed zanurzeniem w wodzie (kontrola) oraz bezpośrednio po wynurzeniu. Materiał do badań stanowiła krew żylna pobrana z żyły odłokciowej. W erytrocytach oznaczono aktywność peroksydazy glutationowej (GPx) i katalazy (CAT).

Aktywność katalazy oznaczono metodą Beersa i Seizera [4]. Założenia tej metody bazują na obniżaniu się absorbancji roztworu nadtlenu wodoru rozkładanego przez enzym. Obniżająca się absorbancja jest wprost proporcjonalna do zmniejszającego się stężenia H_2O_2 w roztworze. Wykorzystując molowy współczynnik absorbancji możemy obliczyć ilość rozłożonego nadtlenu wodoru w danym przedziale czasowym, w wyniku czego otrzymujemy jednostkę aktywności katalazy (IU). Absorbancja została zmierzona oprogramowaniem kinetycznym firmy Varian wykorzystując falę o długości $\lambda = 240$ nm. Aktywność katalazy wyrażono w IU/gHb.

Aktywność peroksydazy glutationowej oznaczono metodą Paglia i Valentine [28]. Jest to enzym, który rozkłada H_2O_2 z udziałem zredukowanego glutationu (GSH). W wyniku reakcji z nadtlakiem wodoru, GSH zostaje utleniony.

The objective of the present paper is to estimate the effect of ambient pressure changes while diving on the activity of chosen antioxidant enzymes: glutathione peroxidase and catalase.

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted with 11 divers aged between 18 and 41 years old (average age: 32 ± 6.7 years). The divers are members of a diving club in Bydgoszcz. All subjects had an average of 4-year experience in diving.

The diving site chosen for the study was a lake in the village of Czaplonek. The subjects spent 40 min in water at a temperature of 13°C with the maximum descent of 9 m. All divers breathed air during the descent. Before submergence each participant filled in an anonymous personal questionnaire. The group's general features have been shown in Tab. 1.

Table 1.

Group profile.

Divers	
Number of subjects [n]	11
Age [years]	32 ± 6
BMI [kg/m ²]	25.8 ± 2.7
Diving experience [in years]	3.8 ± 1.7
Average number of dives [n]	78.3 ± 25.5
Most frequent depth [m]	11.6 ± 5.2
Maximum depth [m]	43 ± 7.7

Blood samples were drawn from each subject's basilic vein before submergence and immediately after surfacing. The activity of glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT) was assayed in erythrocytes.

Catalase activity was assayed with the Beers and Sizer method [4]. The assumption of this method is based on the decrease in absorbance of the hydrogen peroxide solution decomposed by an enzyme. The decreased absorbance is directly proportional to the decreased concentration of H₂O₂ in the solution. With the use of the molar absorbancy index one may estimate the amount of decomposed hydrogen peroxide in a given time interval, the effect of which is one unit of catalase activity (IU). The absorbance was measured with Varian kinetic software with the use of a $\lambda = 240$ nm length wave. The catalase activity was expressed in IU/gHb.

Glutathione peroxidase, an enzyme which decomposes H₂O₂ with the use of the reduced glutathione (GSH), was assayed with the Paglia and Valentine method [28]. As a result of a reaction with hydrogen peroxide, the GSH is oxidized. The oxidized glutathione (GSSG) returns to the reduced form through the glutathione reductase together with the nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH), which is a coenzyme of the reaction.

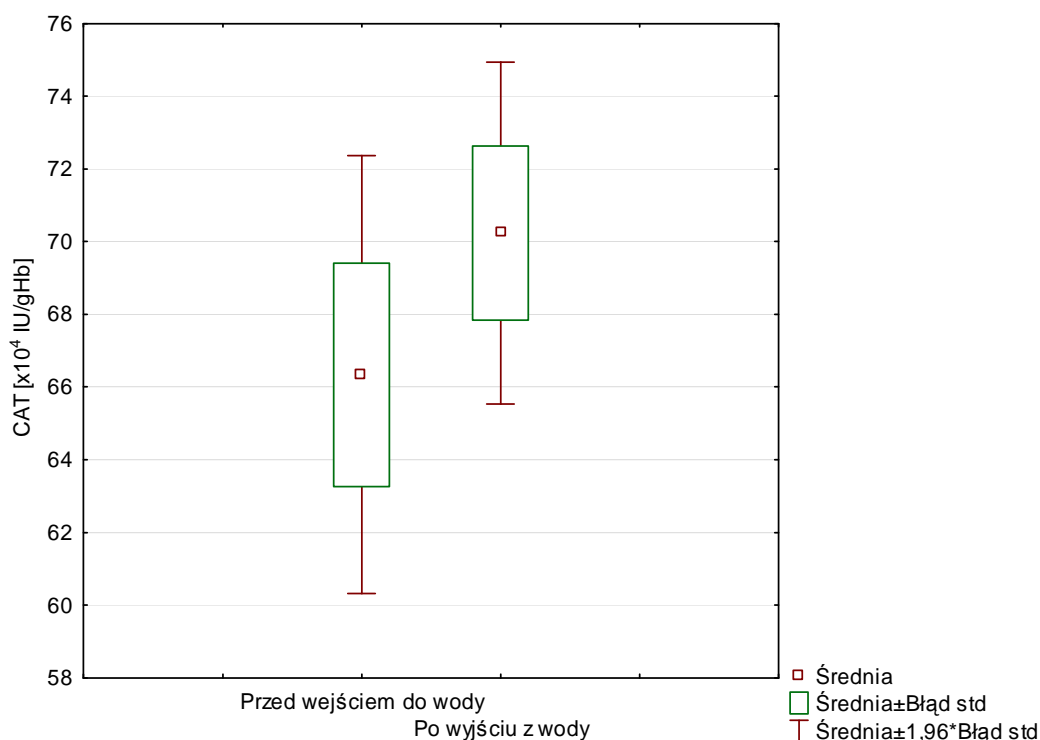
Utleniony glutation (GSSG) wraca do postaci zredukowanej dzięki reduktazie glutationowej przy udziale fosforanu dinukleotydu nikotynamidoadeninowego (NADPH), który jest koenzymem reakcji. W następstwie redukcji utlenionego glutationu, NADPH zostaje utleniony do formy NADP, co powoduje zmianę absorbancji światła przy długości fali $\lambda = 340$ nm. Aktywność peroksydazy glutationowej została zmierzona na podstawie liczby μ moli utlenionego NADPH w trakcie 1 min, którą wyrażono w U/gHb.

Wyniki poddano analizie z użyciem testu T-Studenta. Dla całości wyników przyjęto poziom istotności $p < 0,05$.

WYNIKI

W pracy nie wykazano istotnych statystycznie zmian aktywności enzymów antyoksydacyjnych. Przed wejściem do wody aktywność CAT w erytrocytach nurków wynosiła $66,34 \pm 10,2 \times 10^4$ IU/gHb. Po zakończeniu nurkowania aktywność tego enzymu wykazała tendencję do wzrostu i była równa $70,24 \pm 8,0 \times 10^4$ IU/gHb (Rys. 1.1).

W przypadku GPx przed wejściem do wody aktywność tego enzymu w erytrocytach nurków wynosiła $8,27 \pm 4,5$ U/gHb. Po nurkowaniu aktywność tego enzymu obniżyła się nieznacznie i była równa $5,27 \pm 4,2$ U/gHb (Rys. 1.2).



Rys 1.1. Średnia aktywność katalazy (CAT) w erytrocytach osób nurkujących przed nurkowaniem i bezpośrednio po nurkowaniu.

Following the reduction of the oxidized glutathione, the NADPH becomes oxidized into the NADP form, which causes a change of light absorbance with a $\lambda = 340$ nm length wave. The activity of glutathione peroxidase was measured by the number of μ moles in the oxidized NADPH in 1min, which was expressed in U/gHb.

The results were given to analysis by the Student's t-test. The statistical significance for the entirety of the results was fixed at $p < 0.05$.

RESULTS

No statistically significant changes in the activity of antioxidant enzymes have been proved. The CAT activity in divers' erythrocytes before submergence was $66.34 \pm 10.2 \times 10^4$ IU/gHb. After surfacing, the activity of the enzyme showed an upward trend and equalled $70.24 \pm 8.0 \times 10^4$ IU/gHb (Fig. 1.1).

As for the GPx, its activity in divers' erythrocytes before submergence amounted to 8.27 ± 4.5 U/gHb. After surfacing, the activity of the enzyme decreased insignificantly and amounted to 5.27 ± 4.2 U/gHb (Fig. 1.2).

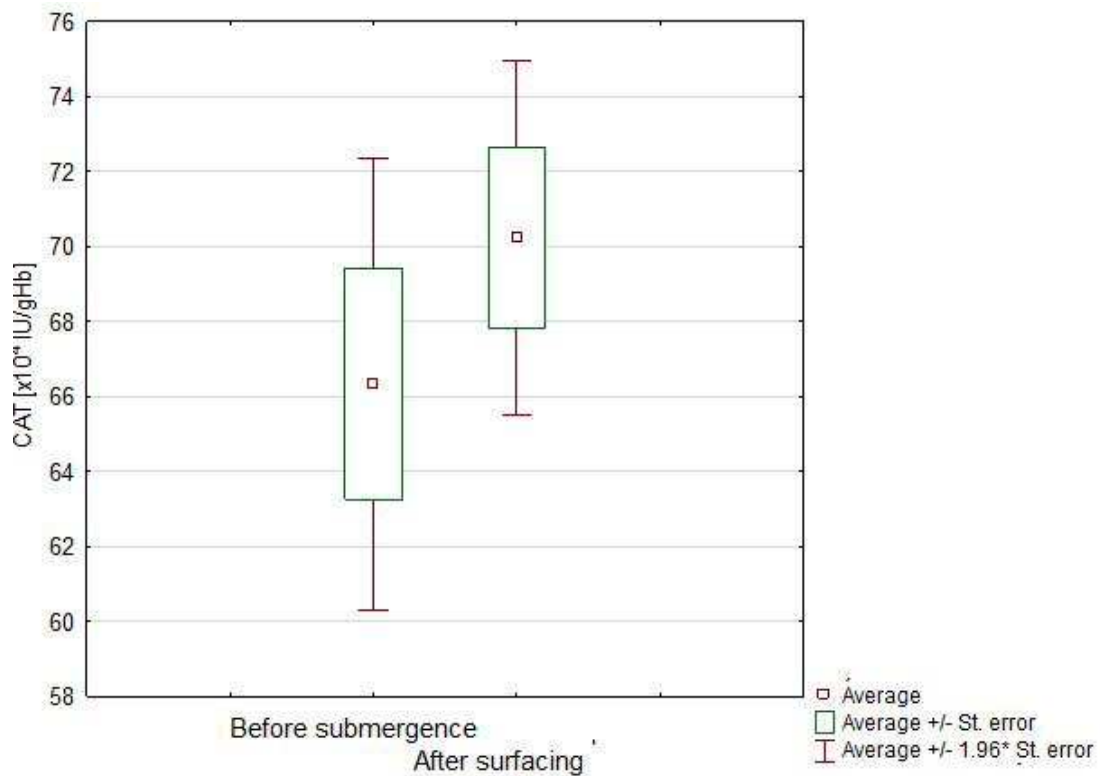
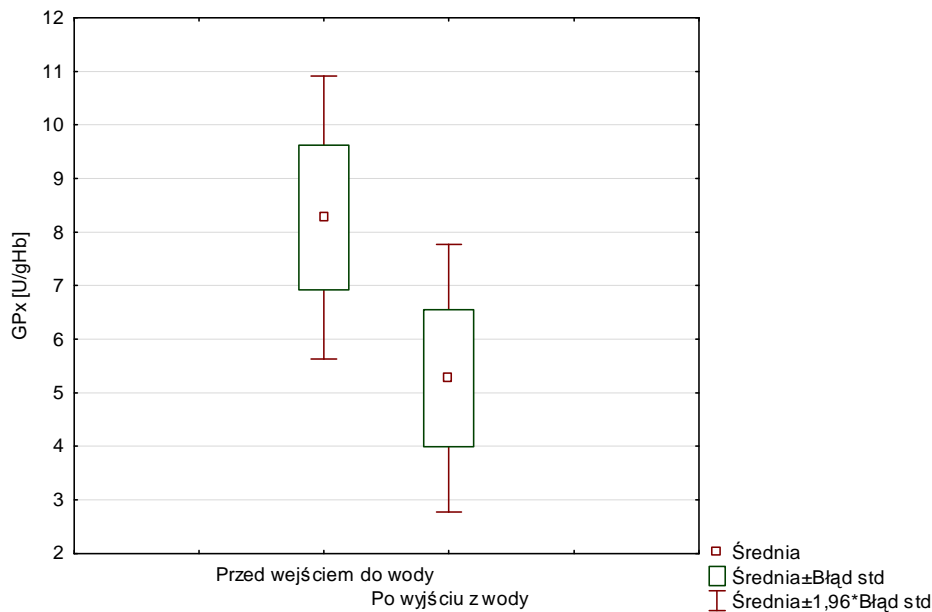


Fig 1.1. Average catalase activity (CAT) in divers' erythrocytes before submergence and immediately after surfacing.



Rys 1.2. Aktywność peroksydazy glutationowej (GPx) w erytrocytach osób nurkujących przed nurkowaniem i bezpośrednio po nurkowaniu.

DYSKUSJA WYNIKÓW

W niniejszej pracy nie wykazano istotnych statystycznie zmian aktywności enzymów antyoksydacyjnych. Jednak aktywność CAT wykazała tendencję do wzrostu, natomiast w przypadku GPx nieznacznie się obniżyła. Zadaniem zarówno katalazy, jak i peroksydazy glutationowej jest usuwanie H_2O_2 powstałego m.in. w wyniku reakcji dysmutacji anionorodnika nadtlenkowego [13]. Wykazany niewielki wzrost aktywności CAT po wyjściu z wody mógłby sugerować, że doszło do zwiększonej generacji nadtlenu wodoru w badanych erytrocytach, nie doszło jednak do wzrostu aktywności GPx. Różnice aktywności między GPx a CAT mogą wynikać z faktu, że GPx usuwa nie tylko H_2O_2 ale uczestniczy również w usuwaniu nadtlenu organicznego [36]. Być może zbyt małe stężenie RFT nie indukowało wzrostu aktywności GPx lub CAT przejęła funkcję usuwania H_2O_2 . Możliwe, że miał tu miejsce udział nieenzymatycznych zmiataaczy, które uczestniczą w pierwszej linii obrony przed RFT. Oprócz zdolności usuwania RFT, mogą one również wpływać m.in. na zmniejszenie wypływu elektronów z łańcucha oddechowego [14].

Wpływ nurkowania na aktywność enzymów antyoksydacyjnych w erytrocytach i osoczu krwi nurków badali również Sureda i wsp. [34]. Po wyjściu z wody wykazali oni m.in. niewielki spadek aktywności GPx i CAT oraz niewielki wzrost aktywności SOD w erytrocytach, różnice nie były jednak istotne statystycznie. W osoczu krwi odnotowano natomiast istotny wzrost aktywności CAT bezpośrednio po wyjściu z wody, a także wzrost aktywności SOD po upływie 3 godzin od wyjścia z wody. Wykazano również tendencję do wzrostu aktywności GPx w osoczu krwi bezpośrednio po wyjściu z wody [34]. Odnosząc się do tych wyników można stwierdzić, że w badanej grupie nurków doszło do nadmiernej generacji anionorodnika nadtlenkowego i H_2O_2 podczas zanurzenia w wodzie, co wywołało aktywację enzymów antyoksydacyjnych w osoczu krwi. Brak wzrostu aktywności enzymów w erytrocytach może wynikać ze skutecznego usuwania WRT w osoczu.

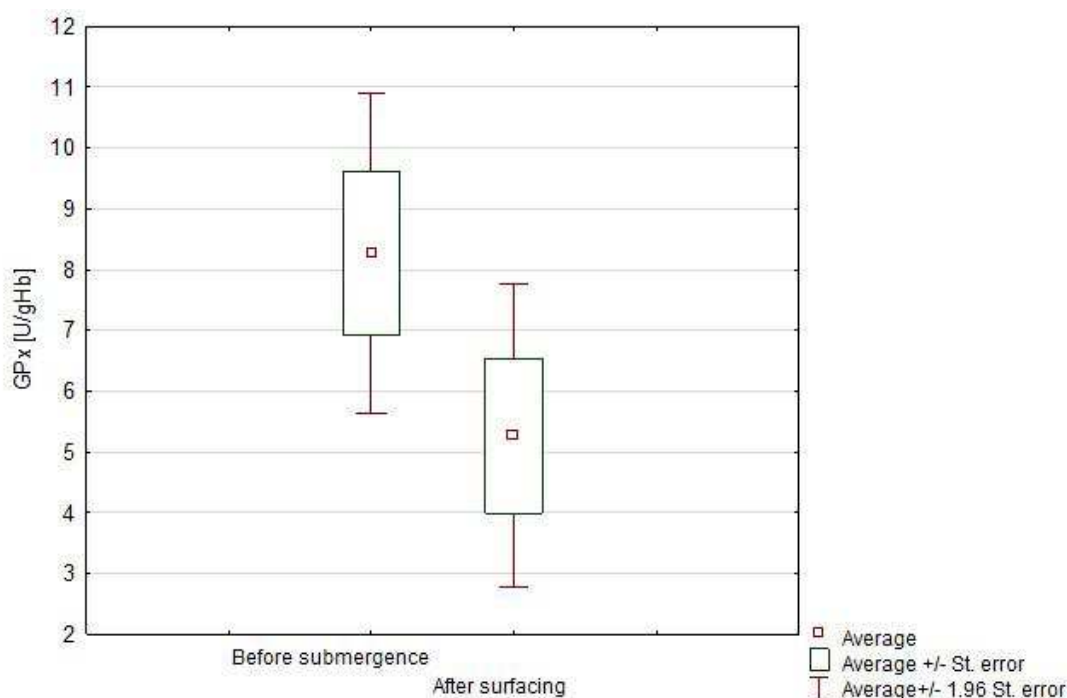


Fig. 1.2. Average glutathione peroxidase activity (GPx) in divers' erythrocytes before submergence and immediately after surfacing.

INTERPRETATION OF RESULTS

No statistically significant changes in the activity of antioxidant enzymes have been proved in the present paper. However, the CAT activity showed an upward trend, whereas the GPx activity decreased insignificantly. The role of both catalase and glutathione peroxidase is to remove H_2O_2 generated, among others, as a consequence of the dismutation of the superoxide anion radical [13]. The slight increase in the CAT activity after surfacing, as was proved in the experiment, could suggest an increased generation of hydrogen peroxide in the investigated erythrocytes, yet the increase of GPx activity did not take place. The difference between the GPx and CAT activities may arise from the fact that GPx not only removes H_2O_2 , but also plays a part in removing organic peroxides [36]. Perhaps the insufficient ROS concentration did not induce the GPx activity, or the CAT took over the role of removing H_2O_2 . There is a possibility that non-enzymatic antioxidants were involved in the first line of defence against ROS. Apart from being able to remove ROS they may also affect decrease in electron outflow from the respiratory chain [14].

The effect of diving on the activity of antioxidant enzymes in erythrocytes and blood plasma was also researched by Sureda and co-authors [34]. After surfacing, their GPx and CAT activity showed a slight decline and their SOD activity in erythrocytes slightly increased, yet the changes were not statistically significant. However, blood plasma featured a significant increase in CAT activity immediately after surfacing, as well as an increase in SOD activity 3 hours after surfacing. An upward trend of GPx in blood plasma immediately after surfacing was also recorded [34].

Sureda i wsp. wykonali również eksperyment z bezdechem [33]. Autorzy przeprowadzili badanie na grupie nurków, których podzielono na osoby przyjmujące kwas askorbinowy lub placebo. Wykazano m.in. istotny statystycznie wzrost aktywności katalazy między grupą kontrolną, a grupą przyjmującą kwas askorbinowy [33]. Niższa aktywność enzymów antyoksydacyjnych u nurków przyjmujących kwas askorbinowy spowodowana jest prawdopodobnie jego silnymi właściwościami antyoksydacyjnymi [31]. Uzyskane przez badaczy wyniki sugerują, że przyjmowanie kwasu askorbinowego wpływa na aktywność enzymów antyoksydacyjnych.

Wpływ ciśnienia otoczenia na aktywność układu antyoksydacyjnego można prześledzić również w sztucznych warunkach, które stwarza komora hiperbaryczna. Oddziaływanie ciśnienia na procesy pro i antyoksydacyjne w warunkach komory hiperbarycznej badał Kozakiewicz i wsp. [21] w grupie kobiet i mężczyzn, którzy byli doświadczonymi nurkami. W doświadczeniu imitowano ciśnienie jakie panuje na głębokości 30 m (3 ATA) i 60 m (6 ATA). W grupie mężczyzn wykazano, że po ekspozycjach odpowiadających danej głębokości doszło do istotnego wzrostu aktywności SOD w erytrocytach. Wykazano ponadto tendencję do wzrostu stężenia MDA. U kobiet z kolei zaobserwowano istotny wzrost aktywności SOD, CAT i GPx oraz niewielki wzrost stężenia MDA. Autorzy sugerują, że płeć może mieć wpływ na obserwowaną aktywność enzymów antyoksydacyjnych [21].

W innym badaniu z wykorzystaniem komory hiperbarycznej, wyniki uzyskane w grupie nurków porównywano do ochotników, którzy nigdy nie nurkowali i stanowili grupę kontrolną. Nurków poddano ciśnieniu, jakie panuje na głębokości 30 m (3 ATA), przez 3,5 h. Plateau ekspozycji wynosiło 30 minut. Już przed samą ekspozycją stężenie MDA i aktywność SOD w erytrocytach były istotnie wyższe w grupie kontrolnej, w porównaniu do nurków. Po ekspozycji, w grupie nurków odnotowano istotny wzrost wartości wymienionych parametrów. Zdaniem autorów pracy eksperyment wskazuje, że hiperbaria wpływa wyraźnie na generowanie RFT [20].

Podobne badania do prezentowanej wcześniej pracy wykonał Eken i wsp. (2005). Grupa 15 ochotników wchodziła również 3 razy do komory hiperbarycznej na 20 min z 5 min przerwą, ale w tym przypadku sesja została powtórzona 20 razy. Uczestników poddano oddziaływaniu 2,5 ATA i przyjmowali oni witaminę E, która w tym eksperymencie była podawana razem z witaminą C. Krew pobierano przed ekspozycją, po pierwszej oraz po 10 i 20 ekspozycji. Nie wykazano istotnych statystycznie różnic w aktywności oznaczonych enzymów antyoksydacyjnych: (SOD) i (GPx) oraz w stężeniu MDA [11].

Inne wyniki uzyskano u ochotników nienurkujących, których poddano 15 ekspozycjom w komorze hiperbarycznej. Porównano pierwsze wejście z ostatnim i wykazano, że dochodzi do istotnego wzrostu stężenia MDA w osoczu krwi i niewielkiego wzrostu w erytrocytach. Aktywność SOD i CAT zmalała istotnie statystycznie w porównaniu do pierwszego wejścia, natomiast aktywność GPx prawie nie zmieniła swojej wartości [5].

Podsumowując wyniki, które badacze otrzymali w sztucznych warunkach stworzonych przez komorę hiperbaryczną można faktycznie przypuszczać, że ciśnienie działające na człowieka zwiększa generację RFT. Potwierdzają to odnotowane wzrosty stężenia produktów peroksydacji lipidów -MDA. Peroksydacja lipidów jest wieloetapowym procesem utleniania nienasyconych kwasów tłuszczowych, doprowadzając ostatecznie do uszkodzenia błony komórkowej, a nawet śmierci komórki. [23]. W badaniach z użyciem suplementacji witaminowej z kolei nie wykazano istotnych zmian w stężeniu MDA oraz aktywności wybranych enzymów antyoksydacyjnych. Pozwala to sądzić, że nieenzymatyczne zmiatacze wolnych rodników mają znaczny udział w barierze antyoksydacyjnej i wspierają jej pierwszą linię obrony.

In view of the above results, it may be stated that in the investigated group of divers, at the moment of submergence, the superoxide anion radical and H₂O₂ were excessively generated which caused the antioxidant enzymes in blood plasma to activate. The lack of increase in enzyme activity in erythrocytes may be attributed to an effective free oxygen radicals removal in the plasma.

Sureda and co-authors have also conducted an apnea experiment [33]. The authors conducted the experiment on a group of divers which they then divided into two sub-groups, administering ascorbic acid to one and placebo to the other. One of the observations was a difference in the increase of catalase activity between the control group and ascorbic acid group [33]. A lower activity of antioxidant enzymes with the ascorbic acid group of divers is most likely due to its strong antioxidant properties [31]. The obtained results suggest that ascorbic acid affects the antioxidant enzymes activity.

The effect of the ambient pressure on the antioxidant system activity can be monitored in artificial conditions as provided by a hyperbaric chamber. The effect of pressure on pro- and antioxidant processes in the hyperbaric chamber milieu was researched by Kozakiewicz and co-authors [21] among a group of male and female experienced divers. In the experiment, the researchers imitated the pressure present at 30 metres (3 ATA) and 60 metres (6 ATA). After having been exposed to pressures corresponding to the given depths, there was observed a significant increase in the SOD erythrocytes among the male population. Moreover, an upward trend of MDA concentration was proved. Among the female population, on the other hand, a significant increase in SOD, CAT and GPx activity were recorded, along with a slight increase in MDA concentration. The authors suggest that gender may be responsible for the observed activity of antioxidant enzymes [21].

Yet another study in a hyperbaric chamber was done among a control group of people who had never had a diving experience before. Their results were compared to those of the divers. The divers were exposed to the kind of pressure which corresponds to the depth of 30 m (3 ATA) for 3.5 h. The exposition plateau was 30 minutes. Even before the exposition, the MDA concentration and the SOD activity in erythrocytes were much higher in the control group compared to the divers. After the exposition, the said parameters in the divers significantly increased. The authors argue that this experiment proves that hyperbaria is conducive to the generation of ROS [20].

Similar research was done by Eken and co-authors (2005). A group of 15 volunteers entered the hyperbaric chamber 3 times for 20 minutes with a 5 minute break, but this time the session was repeated 20 times. The subjects were exposed to the pressure of 2.5 ATA and were administered vitamin E, which was complementary to vitamin C in this experiment. Blood was drawn before and after the first exposition, and later after ten and twenty expositions. No statistically significant differences were recorded in the activity of assayed antioxidant enzymes: (SOD) and (GPx) or in the MDA concentration [11].

The experiments done on non-diving volunteers, who were subjected to 15 expositions in the hyperbaric chamber, showed different results. The first and the last expositions were compared and the results showed that the MDA concentration had significantly increased in blood plasma, and slightly increased in erythrocytes. The SOD and CAT activity significantly decreased compared to the first exposition, whereas the GPx activity barely changed [5].

Summing up the results obtained in artificial conditions provided by the hyperbaric chamber, it may be assumed that being under pressure induces a generation of ROS. Increased concentrations of lipid peroxidation products - MDA - only prove this assumption.

W piśmiennictwie można znaleźć wyniki badań dotyczących wpływu zmian ciśnienia również na organizm zwierząt. Celem jednego z nich było sprawdzenie funkcjonowania odpowiedzi enzymatycznej bariery antyoksydacyjnej po ciągłej i przerywanej hiperbarii tlenem u szczurów oraz świnek morskich. Zwierzęta były narażone na oddziaływanie tlenu pod ciśnieniem 2,2 ATA, który dostarczano w sposób ciągły lub z przerwami. W jednym cyklu zwierzęta oddychały przez 10 min czystym tlenem, a następnie przez 2,5 min powietrzem. W otrzymanych wynikach wykazano znaczny wzrost aktywności SOD w płucach zarówno u świnek morskich, jak i u szczurów. Aktywność CAT i GPx w mózgu i płucach obniżyła się w obu grupach. Nie wykazano istotnych różnic w aktywności badanych enzymów między grupą świnek morskich i szczurów [16].

Staniszewska [35] z kolei przeprowadziła badania u szczurów Wistar podzielonych na 3 grupy. Grupę kontrolną (nr I) oraz grupy badane (nr II i III). Grupy II i III podzielone zostały dodatkowo na podgrupy IIa, IIb i IIIa, IIIb. W uzyskanych wynikach stężenie MDA w badanych grupach było istotnie wyższe w podgrupie IIa oraz w IIIa. Aktywność SOD i CAT w erytrocytach oraz GPx w surowicy nie uległy zmianie po ekspozycji hiperbarycznej. Autorka wnioskuje, że ciśnienie znamienne statystycznie wpływa na stężenie MDA w surowicy krwi, a nie wpływa na aktywność głównych enzymów antyoksydacyjnych [35].

Udowodniono, że wysiłek fizyczny wpływa na wytwarzanie RFT i zmienia aktywność enzymów antyoksydacyjnych. Wzrost aktywności CAT i SOD wykazano między innymi w erytrocytach kajakarzy i wioślarzy po treningu w warunkach wysokogórskich [37]. Nurkowanie związane jest również z wysiłkiem fizycznym. Uzyskana niewielka tendencja wzrostowa CAT wynika być może z samej aktywności fizycznej, a nie z wpływu zmian ciśnienia. Nieoznaczony został w badaniach własnych poziom nieenzymatycznych zmiataaczy wolnych rodników, a wyniki badań innych autorów wskazują, że mają one istotne znaczenie w obronie antyoksydacyjnej.

Alcaraz-García i wsp. [1] badali wpływ hiperoksji podczas nurkowania gdzie ocenili m.in. całkowity potencjał antyoksydacyjny TAS (total antioxidant status) oraz aktywność peroksydazy glutationowej w surowicy krwi. Odnotowali oni znaczne obniżenie TAS w 6 tygodniu i niewielki jego wzrost w 12 tygodniu. Aktywność GPx była istotnie niższa zarówno w 6, jak i 12 tygodniu. Autorzy uważają, że uzyskane wyniki mają związek z adaptacją do hiperoksji, którą młodość i dobra kondycja fizyczna mogą poprawić [1]. Przypuszczenia te mogą mieć uzasadnienie również w wynikach własnych niniejszej pracy, gdzie większość badanych utrzymuje, że dba o kondycję fizyczną, a średnia wieku wynosi 32 lata. Wszyscy uczestnicy mieli ponadto ok. 3 letnie doświadczenie, co może sugerować, że zjawisko adaptacji wystąpiło również w badanej grupie niniejszej pracy.

Generacja reaktywnych form tlenu może być zwiększona w sytuacji hipoksji/reoksygenacji tkanek. Prócz generacji RFT, zjawisko hipoksja/reoksygenacja powoduje uszkodzenia komórek w narządach przeszczepionych, czy też niedokrwionych, gdzie dochodzi do śmierci komórek w wyniku indukowania procesów martwicy i apoptozy [25]. Tego typu zjawisko towarzyszy nurkom zanurzającym się na bezdechu. Długie niedotlenienie komórek, a następnie zwiększony dopływ tlenu powoduje znaczny wzrost wytwarzania RFT. Badania takie przeprowadził Joulia wraz z zespołem [17] u nurków zanurzających się na bezdechu. Uzyskane w tej grupie rezultaty porównano do wyników grupy kontrolnej. Uzyskany brak wzrostu TBARS w próbie z bezdechem można tłumaczyć mniejszym zużyciem tlenu w łańcuchu oddechowym i tym samym mniejszą generacją RFT w nim [8]. Zmiany stężenia GSH w obu grupach mogą być efektem jego zużycia przez GPx podczas usuwania H₂O₂.

The lipid peroxidation is a complex process of oxidation of polyunsaturated fatty acids which leads to the damage of a cell membrane or even death of cells [23]. Conversely, the experiments with the use of vitamin supplementation did not reveal any significant changes in the MDA concentration or antioxidant enzymes activity. This indicates that non-enzymatic antioxidants play a major part in the antioxidant barrier and support its line of defence.

Literature can also provide information on how pressure changes affect animals. The goal of one such experiment was to verify the functioning of the response of the enzymatic antioxidant barrier after continuous and interrupted oxygen hyperbaria in rats and guinea pigs. The animals were exposed to oxygen at 2.2 ATA which was provided continually or with interruptions. In one cycle, the animals breathed pure oxygen for 10 min., and then air for 2.5 min. The obtained results revealed an increased SOD activity in the lungs in both rats and guinea pigs. The CAT and GPx activity in the brain and lungs declined in both groups. No significant differences in the activity of investigated enzymes between rats and guinea pigs were recorded [16].

Staniszewska [35], in turn, performed an experiment on Wistar rats, which she divided into 3 groups. A control group (no. I) and the research groups (nos. II and III). Groups II and III were further divided into subgroups IIa, IIb and IIIa, IIIb. The obtained results revealed the MDA concentration to be higher in subgroups IIa and IIIa. Neither the SOD and CAT activity in erythrocytes, nor the GPx in blood serum changed after the hyperbaric exposition. The author argues that pressure has a statistically significant effect on the MDA concentration in blood serum, and does not affect the activity of the main antioxidant enzymes [35].

It was proved that physical activity is conducive to the generation of ROS and changes in the activity of antioxidant enzymes. The increase in CAT and SOD activity was revealed in the erythrocytes of canoeists and oarsmen after a training session in high mountains, to name but a few [37]. Diving is also linked with physical activity. Thus the observed slight upward tendency of the CAT may be a result of the physical activity itself, not the pressure changes. The level of non-enzymatic free radical inhibitors was not assayed in our own research, and the experiment results of other authors point to their vital role in antioxidant defence.

Alcaraz-Garcia and co-authors [1] researched the effect of hyperoxia during diving where they estimated the total antioxidant status (TAS) and the glutathione peroxidase activity in blood serum, to name but a few. They recorded a significant decline of TAS in the sixth week and its slight increase in the twelfth. The Gpx activity was considerably lower in the sixth, as well as in the twelfth month. The authors argue that the obtained results are related to the adaptation to hyperoxia, which can be improved by youth and good physical shape [1]. These assumptions can be confirmed by the results of the experiment performed for the sake of the present paper where the majority of the subjects maintain that they are physically active and the average age is 32. Moreover, each participant had 3 years of experience which might suggest that adaptation occurred among the subjects taking part in the present study.

The generation of reactive oxygen species may become increased in the event of hypoxia/reoxygenation of tissue. Apart from the ROS generation, the hypoxia/reoxygenation phenomenon causes cell damage in transplanted or ischemic organs, where the induced processes of necrosis and apoptosis lead to cell death [25]. This type of phenomenon occurs in breath-hold divers. A prolonged hypoxia followed by a substantial flow of oxygen causes the ROS to generate profusely. The research on apnea was conducted by Joulia with his team [17] in breath-hold divers. The results obtained in this group were compared to those of a control group.

Porównanie wyników własnych z wynikami badań przeprowadzonych w innych warunkach lub na różnych grupach osób badanych wskazuje na rozbieżności w określeniu wpływu ciśnienia na aktywność enzymów antyoksydacyjnych. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zmiany ciśnienia otoczenia podczas nurkowania, w prezentowanych w niniejszej pracy warunkach nie wpływają na aktywność oznaczanych enzymów antyoksydacyjnych. Brak istotnych statystycznie różnic może być efektem zmian przystosowawczych w organizmie osób nurkujących. Badania przeprowadzone były jednak na małej grupie i wymagają kontynuowania na większej liczbie osób.

WNIOSKI

- Ciśnienie otoczenia wywierane przez wodę podczas nurkowania nie wpływa istotnie na aktywność peroksydazy glutationowej oraz katalazy w erytrocytach. Może to oznaczać, że nie doszło do zwiększonej generacji nadtlenku wodoru, będącego substratem reakcji katalizowanych przez te enzymy.
- Obserwowane tendencje mogą jednak wskazywać na pewne zaburzenie równowagi oksydacyjno – antyoksydacyjnej.

No TBARS increase in the apnea trial may be justified by a lower oxygen consumption in the respiratory chain and, consequently, lower ROS generation in it [8]. Changes in the GSH concentration in both groups may be a result of its consumption by GPx while removing H₂O₂.

The comparison of the results obtained in our own research with the ones conducted in different circumstances or different groups of subjects point to discrepancies in establishing the effect of pressure on the antioxidant enzymes activity. The conducted study allows the conclusion that changes in ambient pressure while diving, in the circumstances adapted for the purpose of the present research, do not affect the assayed antioxidant enzymes. The lack of statistically significant differences may stem from the adaptive changes having occurred in divers' bodies. However, it is important to note that the research was performed on a small group of people and requires a retake with a larger group.

CONCLUSIONS

- The ambient pressure exerted by water while diving does not affect significantly the glutathione peroxidase and catalase in erythrocytes. This may mean that no increased generation of hydrogen peroxide, which is a substrate of a reaction catalyzed by the two enzymes, took place.
- The observed tendencies, however, might be attributed to an oxidant antioxidant balance disorder.

LITERATURA/ BIBLIOGRAPHY

1. Alcaraz-García M.J., Albaladejo M.D., Acevedo C. et al.; Effects of hyperoxia on biomarkers of oxidative stress in closed-circuit oxygen military divers; *J Physiol Biochem* 2008; 64(2): 135-141. DOI: 10.1007/BF03168241,
2. Ball S.; *Antyoksydanty w medycynie i zdrowiu człowieka*, Medyk, Warszawa 2001: 13,
3. Beatty S., Koh H., H., Henson D., Boulton M.; The Role of Oxidative Stress in the Pathogenesis of Age-Related Macular Degeneration; *Surv Ophthalmo* 2000; 45(2): 115–134. DOI: 10.1016/S0039-6257(00)00140-5,
4. Beers R. T., Seizer J. W.; A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase; *J Biol Chem* 1952, 195(1): 133-140,
5. Benedetti S., Lamorgese A., Piersantelli M. et al.; Oxidative stress and antioxidant status in patients undergoing prolonged exposure to hyperbaric oxygen; *Clin Biochem* 2004; 37(4): 312-317. DOI:10.1016/j.clinbiochem.2003.12.001,
6. Buczyński A., Pacholski K., Dziedziczak - Buczyńska i inni; Zmiany generacji wolnych rodników w krwinkach płytkowych eksponowanych na promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez monitory ekranowe; *Polish Hyperbaric Research* 2010; 1 (30): 35 – 42,
7. Cejkowa J., Stipek S., Crkowska J. et al.; UV Rays, the Prooxidant/Antioxidant Imbalance in the Cornea and Oxidative Eye Damage; *Physiol Res* 2004; 53: 1-10
8. Czajka A.; Wolne rodniki tlenowe a mechanizmy obronne organizmu; *Now Lek* 2006; 75 (6): 582–586,
9. Czarna M., Jarmuszkiewicz W.; Rola mitochondriów w wytwarzaniu i usuwaniu reaktywnych form tlenu, związek z przesyłaniem sygnałów i programowaną śmiercią komórki; *Post Bioch* 2006; 52(2) 145,
10. Davies K., J., A.; Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems; *IUBMB Life* 2000; 50(4-5): 279-289. DOI:10.1080/713803728,
11. Eken A., Aydin A., Sayal A. et al.; The effects of hyperbaric oxygen treatment on oxidative stress and SCE frequencies in humans; *Clin Biochem* 2005; 38(12): 1133-1137. DOI:10.1016/j.clinbiochem.2005.09.001,
12. Ferrer M. D., Sureda A., Batle J. M. et al.; Scuba diving enhances endogenous antioxidant defenses in lymphocytes and neutrophils; *Free Radic Res* 2007; 41 (3): 274-281. DOI:10.1080/10715760601080371,
13. Gałęcka E., Jacewicz R., Mrowicka M. i inni; Enzymy antyoksydacyjne – budowa, właściwości, funkcje; *Pol Merk Lek* 2008, XXV, 147, 266- 268,
14. Gałęcka E., Mrowicka M., Malinowska K., Gałęcki P.; Wybrane substancje nieenzymatyczne uczestniczące w procesie obrony przed nadmiernym wytwarzaniem wolnych rodników; *Pol Merk Lek* 2008; 25 (147): 269 – 272,
15. Grosicka-Maciąg E.; Biologiczne skutki stresu oksydacyjnego wywołanego działaniem pestycydów; *Postepy Hig Med Dosw* 2011; 65: 357-366 ,
16. Harabin A. L. , Braisted J. C. , Flynn E. T.; Response of antioxidant enzymes to intermittent and continuous hyperbaric oxygen; *J Appl Physiol* 1990 ; 69(1): 328-335,
17. Joulia F., Steinberg J.G., Wolff F. et al.; Reduced oxidative stress and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers; *Respir Physiol Neurobiol* 2002; 133(1-2): 121-30. DOI: 10.1016/S1569-9048(02)00133-7,
18. Kalisz O., Wolski T., Gerkowicz M., Smorawski M.: Reaktywne formy tlenu (RTF) oraz ich rola w patogenezie niektórych chorób; *Ann UMCS* 2007; 62 (1): 88 – 99,

19. Kanter M.; Free radicals, exercise and antioxidant supplementation; *Proc Nutr Soc* 1998; 57 (1): 9-13,
20. Kozakiewicz M., Kędziora J., Kędziora - Kornatowska K. i inni; Wpływ hiperbarii na wybrane parametry stresu oksydacyjnego we krwi nurków; *Polish Hyperbaric Research* 2005; 3(12): 7-12,
21. Kozakiewicz M., Olszański R., Siermontowski P. i inni; Procesy pro- i antyoksydacyjne we krwi nurków; *Polish Hyperbaric Research* 2011; 1(34): 21-26,
22. Krzyżak J.; *Medycyna nurkowa*, Poznań, 2006 wyd. I,
23. Kulbacka J., Saczko J., Chwiłkowska A.; Stres oksydacyjny w procesach uszkodzenia komórek; *Pol Merk Lek* 2009; XXVII, 157, 44,
24. Kumar S.; Free Radicals and Antioxidants: Human and Food System; *Adv Appl Sci Res* 2011; 2 (1): 129-135,
25. Li C., Jackson R.M.; Reactive species mechanisms of cellular hypoxia-reoxygenation injury; *Am J Physiol Cell Physiol* 2002; 282(2): 227-241. DOI: 10.1152/ajpcell.00112.2001,
26. Łatka U., Kuliński W., Knefel G., Sieroń A.; Aktualny stan medycyny hiperbarycznej w Polsce; *Baln Pol* 2009; 51 (1): 7-17,
27. Łuszczewski A., Matyska-Piekarska E., Trefler J, Wawer I, Łącki J, Śliwińska-Stańczyk P.: Reaktywne formy tlenu – znaczenie w fizjologii i stanach patologii organizmu, *Reumatologia* 2007; 45 (5): 284–289,
28. Paglia D. E., Valentine W. N.; Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase; *J Lab Clin Med* 1967, (70) 1: 158-169,
29. Radwańska-Wala B., Buszman E., Drużba D.: Udział reaktywnych form tlenu w patogenezie chorób ośrodkowego układu nerwowego; *Wiad Lek* 2008; 61: 69-72,
30. Roszkowski K.; Mechanizmy naprawy oksydacyjnych uszkodzeń DNA; *Współcz Onkol* 2002; 6 (6): 360–365,
31. Rutkowski M., Matuszewski M., Kędziora J i inni.; Witaminy E, A i C jako antyoksydanty; *Pol Merk Lek* 2010; 29 (174): 377,
32. Siems W., G., Brenke R., Sommerburg O., Grune T.; Improved antioxidative protection in winter swimmers; *QJM*; 1999; 92 (4): 193-198. DOI:10.1093/qjmed/92.4.193,
33. Sureda A., Batle J.M., Tauler P. et al.; Vitamin C supplementation influences the antioxidant response and nitric oxide handling of erythrocytes and lymphocytes to diving apnea; *Eur J Clin Nutr* 2006; 60(7): 838-846. DOI:10.1038/sj.ejcn.1602388,
34. Sureda A., Ferrer M. D., Batle J. M. et al.; Scuba diving increases erythrocyte and plasma antioxidant defenses and spares NO without oxidative damage; *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41 (6): 1271-1276. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181951069,
35. Staniszevska M.; The effect of hyperbaric air exposure on concentrations of malondialdehyde and some parameters of the antioxidant system in rat blood; *Ann Acad Med Stetin* 2004; 50(2): 105-114 ,
36. Takebe G., Yarimizu J., Saito Y. et al.; A comparative study on the hydroperoxide and thiol specificity of the glutathione peroxidase family and selenoprotein P; *J Biol Chem* 2002; 277(43): 41254-41258. DOI 10.1074/jbc.M202773200,
37. Woźniak A., Drewa G., Chesy G. i inni; Effect of altitude training on the peroxidation and antioxidant enzymes in sportsmen; *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(7): 1109-1113,

38. Yildirim I., Kilinc M., Okur E. et al.; The effects of noise on hearing and oxidative stress in textile workers, *Ind Health* 2007; 45(6): 743-749. DOI:10.2486/indhealth.45.743.

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГЛУТАТИОНПЕРОКСИДАЗЫ (GSH-PX) И КАТАЛАЗЫ
(CAT) В КРОВИ НЫРЯЛЬЩИКА - ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ**

Изменение условий окружающей среды вызывает в организме стресс, который может привести к увеличению генерации реактивных форм кислорода и многочисленным повреждениям в клетках. Важную роль в предотвращении этих повреждений выполняют антиоксидантные ферменты. Целью данной работы было определение влияния изменений давления окружающей среды на активность глутатионпероксидазы и каталазы в условиях дайвинга.

В исследованию приняло участие 11 водолазов в возрасте от 18 до 41 лет. Субъекты провели 40 минут в озере, в воде при температуре 13 ° C, спускаясь на глубину около 9 м. Во время погружения все дышали воздухом. Образцы крови были взяты из локтевой вены дважды - перед погружением в воду (контроль) и сразу после выхода на поверхность.

Исследования показали тенденцию к увеличению активности каталазы и тенденции к снижению активности глутатионпероксидазы, но эти изменения не были статистически значимыми. Окружающее давление, оказываемое водой во время погружения, не имеет значительного влияния на активность глутатионпероксидазы и каталазы в эритроцитах. Это позволяет предположить, что не существует повышенный генерации пероксида водорода, который является субстратом реакции, катализируемой двух ферментов.

Это позволяет предположить, что не произошло повышенной генерации пероксида водорода, который является субстратом реакции катализируемой двумя ферментами. Отсутствие статистически значимых изменений в активности изучаемых антиоксидантных ферментов может быть связано с адаптивными изменениями в организме ныряльщиков.

Ключевые слова: давление, дайвинг, глутатионпероксидаза (GPx), каталаза (CAT).

mgr Adrian Włodarski

85-796 Bydgoszcz, ul Bartłomieja z Bydgoszczy 6

Tel. 663 054 231

e-mail: ak.wlodarski@gmail.com

dr hab. Alina Woźniak prof. UMK

Katedra Biologii Medycznej, Collegium Medicum w Bydgoszczy, UMK w Toruniu

85-092 Bydgoszcz, ul. Karłowicza 24

Tel. 52 585 37 37, fax. 52 585 37 42

e-mail: alina-wozniak@wp.pl

dr Celestyna Mila-Kierzenkowska

Katedra Biologii Medycznej, Collegium Medicum w Bydgoszczy, UMK w Toruniu
85-092 Bydgoszcz, ul. Karłowicza 24
Tel. 52 585 37 37, fax. 52 585 37 42
e-mail: celestyna@o2.pl

mgr Paweł Sutkowy

Katedra Biologii Medycznej, Collegium Medicum w Bydgoszczy, UMK w Toruniu
85-092 Bydgoszcz, ul. Karłowicza 24
Tel. 52 585 37 37, fax. 52 585 37 42
e-mail: pawel2337@wp.pl

