

## Materiał i metodyka

Do badania użyto 20 królików białych rasy nowozelandzkiej, płci mieszanej o wadze 2,0-2,5 kg. Po znieczuleniu worka spojówkowego i rogówki 4% roztworem Xylocainy pobierano kroplę cieczy wodnistej z komory przedniej oka prawego i lewego, nakłuwając rąbek rogówki cienką igłą (0,5 × 25 mm) nałożoną na strzykawkę. Tak pobraną ciecz wodnistą przenoszono bezpośrednio na elektrodę pomiarową oksymetru elektrochemiczno-polarograficznego MO 10.1 firmy Prācitronic po uprzednim wyskalowaniu aparatu, przy uwzględnieniu aktualnego (w momencie badania) ciśnienia powietrza atmosferycznego i tlenu. W podobny sposób dokonano pomiarów  $pO_2$  we krwi tętnicznej pobierając cienką igłą krew z tętnicy usznej królika.

## Wyniki

Wyniki badania określano podając wartość średniej arytmetycznej  $pO_2$  w cwkp oka prawego i lewego oraz w krwi tętnicznej, obliczając odchylenie standardowe i oceniając statystycznymi testami istotność różnicy uzyskanych wyników. Istotność oceniano w każdym porównaniu dwoma testami: Testem „t” Studenta (poziom istotności  $\alpha = 0,05$ ) oraz porównania średnich z błędem standardowym różnicy średnich<sup>10,19,20</sup>. Ciśnienie parcjalne tlenu  $pO_2$  obliczono w kilopascalach (1kPa = 7,5 mmHg). W oku prawym  $pO_2$  wynosiło ono średnio 8,42 kPa ( $\pm 2,67$ ), w oku lewym 8,62 kPa ( $\pm 2,015$ ). Testami istotności stwierdzono, że różnica między średnią  $pO_2$  cwkp oka prawego i lewego jest nieistotna, obliczono więc średnią  $pO_2$  cwkp w obu oczach ( $n = 40$ ) i wyniosła ona 8,48 kPa ( $\pm 2,34$ ). We krwi tętnicznej  $pO_2$  wynosiło średnio 9,69 kPa ( $\pm 1,66$ ). Przy pomocy testów istotności porównano średnią zawartość tlenu w cwkp oczu ze średnią zawartością tlenu we krwi tętnicznej i stwierdzono, że ta różnica jest istotną statystycznie.

## Omówienie

Proces przenikania tlenu do cwkp jest nie do końca wyjaśniony, podobnie jak proces wytwarzania cieczy wodnistej<sup>7,12</sup>. Tlen w cwkp pochodzi przede

wszystkim z mikrokrążenia w obrębie ciała rzęskowego i z naczyń tęczówki. Z podanych obliczeń wynika, że ilość tlenu w cwkp jest wyższa niż wartości podawane przez cytowanych we wstępie autorów. Być może wpływ na wyniki miał fakt, że w odróżnieniu od cytowanych prac w wykonanym przez nas doświadczeniu zwierzęta znajdowały się w normalnych warunkach, nie były w stanie hipotensyjnej, nie były znieczulane ogólnie, zawsze uwzględniano aktualne w czasie badania ciśnienie atmosferyczne i odpowiednią do tego zawartość tlenu w powietrzu. W niniejszej pracy stwierdzono wyższą zawartość tlenu we krwi tętnicznej niż w cwkp. Zaobserwowane zjawisko trudno jest jednoznacznie wytłumaczyć. Wpływ na to może mieć szereg czynników i wymaga to osobnych badań. Podobnie jak w innych tkankach można przyjąć, że ilość tlenu w cwkp jest wprost proporcjonalna do różnicy ciśnień we krwi i w cwkp a odwrotnie proporcjonalna do wielkości i struktury przestrzeni oddzielającej krew od obszaru jakim jest komora przednia oka. Dystrybucja tlenu może być różna w zależności od dyfuzji tlenu, jego konsumpcji, rozpuszczalności<sup>18</sup>. Dużą rolę odgrywa wysycenie hemoglobiny tlenem, które podczas oddechania w normalnych warunkach nigdy nie osiąga 100%. Istnieje poza tym wiele czynników, które wpływają na wiązanie tlenu z hemoglobiną jak  $pCO_2$ , odczyn środowiska i in.<sup>2</sup> Na zawartość tlenu w cwkp może mieć wreszcie wpływ aktywność enzymów i czynnych związków chemicznych, których zawartość w soczewce jak i w cwkp jest duża, niekiedy kilkakrotnie większa niż w osoczu krwi a soczewka oka zaopatrywana jest w tlen w procesie tlenowego oddychania wyłącznie przez tlen pochodzący z cwkp<sup>24</sup>. Procesy te nie są jeszcze dobrze poznane i wymagają dalszych badań. Przedstawione pomiary  $pO_2$  w cwkp i we krwi zdrowych królików stanowią pierwszą część pracy. W drugiej części będą przedstawione wyniki pomiarów  $pO_2$  w cwkp i we krwi królików po doświadczalnym zmniejszeniu ukrwienia gałki ocznej.

Wykaz piśmiennictwa po II części pracy  
Praca wpłynęła: 25.07.1992.

Roman Sobecki i Barbara Terelak

## Badania nad zawartością tlenu w cieczy wodnistej komory przedniej oka królika. II. Zawartość tlenu w cieczy wodnistej komory przedniej oka i we krwi tętnicznej w wywołanym doświadczalnie niedokrwieniu gałki ocznej

Studies on oxygen content in aqueous humor of anterior chamber of rabbit's eye — II. Oxygen content in aqueous humor of anterior chamber and arterial blood in experimentally provoked ischaemia

**Summary.** The ligation of the right common carotid artery has been performed in 20 rabbits. Then, the partial pressure of oxygen  $pO_2$  in the aqueous humor of anterior chamber of the both eyes and in the right and left ear artery was measured. An electrochemical polarographic oxymeter was used for this purpose. The measurements were carried out on the second day, in a week and in one month after performing the ligation. A statistically significant decrease of  $pO_2$  in aqueous humor of anterior chamber of the right eye and of ear artery on the right side was observed, especially on the second day and after a week. Blood circulation stoppage within the right common carotid artery causes, in spite of the preservation of collateral circulation, a significant  $pO_2$  decrease in aqueous humor. The  $pO_2$  measurement would be a valuable supplement to the methods applied in the measurement of ear artery blood circulation.

Hasła: oksymetria, ciecz wodnista, niedokrwienie oka  
Key words: oxymetry, aqueous humor, ischemia of eye

Odpowiednie utlenowanie tkanek oka pozwala na zachowanie ich prawidłowego funkcjonowania. Zabezpieczenie tych procesów warunkuje wydolny układ oddechowy i krążenia krwi a również mało poznany mechanizm przenikania tlenu do tkanek. Oko pod względem zaopatrzenia w tlen stanowi szczególny narząd w organizmie. Wynika to z budowy układu naczyniowego oka, zwłaszcza w obrębie siatkówki a również z istnienia specyficznego układu krążącego jaki tworzy ciecz wodnista komory przedniej (cwkp). Cwkp powstaje w niewyjaśniony sposób jako ultraprzesącz w obrębie mikrokrążenia ciała rzęskowego a bierze w tym udział szereg układów enzymatycznych komórek nabłonkowych wyrostków

rzęskowych ciała rzęskowego co określane jest również jako sekrecja<sup>7,12,23</sup>. Tlen w cwkp oka pochodzi prawie wyłącznie z układu krwionośnego. Dla soczewki oka cwkp jest jedynym źródłem tlenu w procesie jej odżywiania. Fakt ten nabiera dużego znaczenia, bowiem uważa się, że jedną z przyczyn zaćmy jest obniżona podaż tlenu<sup>24</sup>. Długotrwałe zmniejszenie ukrwienia i prawdopodobnie, w konsekwencji obniżenie utlenowania, stanowi jeden z czynników etiologicznych przewlekłych zapaleń błony naczyniowej i siatkówki oraz jaskry.

W pierwszej części pracy określono jaki jest poziom tlenu we krwi tętnicznej i cwkp oka królika w warunkach fizjologicznych. Ciśnienie parcjalne tlenu  $pO_2$  wynosiło odpowiednio: we krwi tętnicznej 9,69 kPa i cwkp 8,48 kPa. Celem niniejszej — drugiej części pracy — jest zbadanie i określenie poziomu tlenu w cwkp i we krwi i we krwi tętnicy usznej królika po zmniejszeniu krążenia w obrębie głowy po jednej stronie.

Z Kliniki Okulistycznej CMKP w Warszawie  
Kierownik: prof. dr hab. Krystyna Czechowicz-Janicka

Reprint requests to:  
Dr Roman Sobecki  
ul. Lasek Brzozowy 13 m. 25, 02-792 Warszawa



## Materiał i metodyka

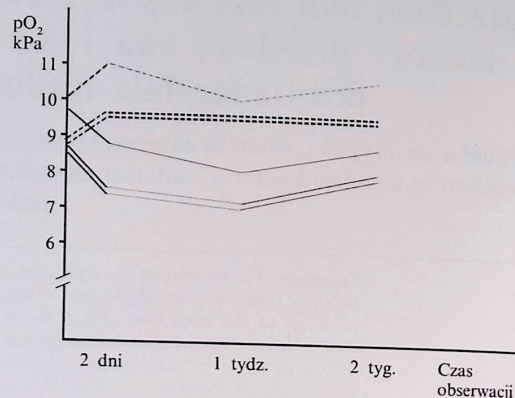
Do badania użyto 20 królików rasy nowozelandzkiej, mieszanej płci, o wadze ciała 2,0-2,5 kg. Króliku znieczulano ogólnie odpowiednią dawką Vetbutalu i podwiązano po stronie prawej tętnicę szyjną wspólną zachowując zasady aseptyki. Zawartość tlenu w cwkp oka prawego i lewego oraz we krwi tętnicy usznej prawej i lewej określano w 2-gim dniu, po tygodniu i w 2 tygodniu od operacji podwiązania tętnicy szyjnej wspólnej po stronie prawej. Pomiarów dokonywano metodą polarograficzną w sposób opisany w pierwszej części pracy.

## Wyniki i omówienie

Uzyskane wyniki wskazują, że w następstwie zmniejszenia ukrwienia oka po stronie prawej obniżył się poziom tlenu w cwkp i we krwi tętniczej po stronie prawej w stosunku do przeciętnego poziomu  $pO_2$  obliczonego w warunkach fizjologicznych (tab. I). Korzystając z metod statystycznych określono iż różnica ta jest statystycznie istotna<sup>10,19,20</sup>. Jednocześnie zaobserwowano wzrost utlenowania w cwkp oka lewego. Zmiany te utrzymywały się przez cały okres obserwacji. Podobnie wyglądała różnica w utlenowaniu krwi w tętnicy usznej prawej i lewej (ryc. 1). W tętnicy prawej zawartość tlenu była istotnie mniejsza niż w warunkach fizjologicznych oraz była niższa niż w tętnicy lewej w ciągu całego okresu obserwacji.

u człowieka<sup>8,9,15</sup>. U 7 królików badaniem oftalmoskopowym stwierdzono niewielkie zwężenie naczyń naczyniówki po stronie prawej. U pozostałych nie obserwowano żadnych odchyśleń od stanu prawidłowego w narządzie wzroku. W okresie obserwacji, dwa króliki padły w drugim tygodniu, pozostałe zachowywały się prawidłowo.

W diagnostyce układu krążenia a zwłaszcza w badaniu utlenowania tkanek ciągle nie dysponujemy zadowalającymi metodami. Badanie przepływu krwi w naczyniach krwionośnych jest obecnie szeroko



Ryc. 1. Graficzny rozkład poziomów  $pO_2$  w cwkp i krwi tętniczej po podwiązaniu tętnicy szyjnej wspólnej prawej.

Tabela I

Wartość  $pO_2$  w cwkp i krwi tętniczej w warunkach niedokrwienia gałki ocznej

Wartości $pO_2$		$pO_2$ w cwkp (kPa)		$pO_2$ we krwi (kPa)	
		oko prawe n=20	oko lewe n=20	t. uszna prawa n=20	t. uszna lewa n=20
norma		8,48(±2,34)	8,48(±2,34)	9,69(±1,66)	9,69(±1,66)
po podwiązaniu tętnicy szyjnej wspólnej prawej	po 2 dniach	7,22(±1,68)	9,32(±1,51)	8,79(±2,14)	11,05(±2,04)
	po 1 tygodniu	6,88(±1,45)	9,35(±1,91)	7,92(±1,73)	9,81(±1,90)
	po 2 tygodniu	7,57(±1,36)	9,52(±1,90)	9,15(±1,95)	10,85(±2,0)

Podwiązując tętnicę szyjną wspólną prawą królika nie powoduje się ustania krążenia w obrębie gałki ocznej prawej. System naczyniowy zaopatrujący gałkę oczną królika jest zbliżony do układu spotykane go u człowieka. Tak jak u ludzi, oko królika zaopatrywane jest głównie przez tętnicę oczną odchodzącą od tętnicy szyjnej wewnętrznej. Choć oko królika nie ma oddzielnego systemu naczyniowego siatkówki, to budowa układu krwionośnego naczyniówki jest bardzo zbliżona do naczyniówki oka człowieka<sup>15</sup>. Oko królika zaopatrywane jest ponadto przez gałązki oczne odchodzące od tętnicy szczękowej wewnętrznej — gałęzi tętnicy szyjnej zewnętrznej. Możliwość wytworzenia się krążenia obocznego jest podobna jak

stosowane przy użyciu aparatury ultrasonograficznej. Dotyczy to jednak głównie diagnostyki większych i średnich naczyń<sup>14</sup>. Badanie utlenowania tkanek ze względu na inwazyjność metod napotyka trudności w praktyce klinicznej. Szeroko stosowana metoda przezskórnego pomiaru  $pO_2$ , ze względu na beznaczyniową strukturę budowy rogówki nie może służyć do pomiaru  $pO_2$  w cwkp<sup>11,16</sup>. Z prawidłowego przepływu krwi w naczyniach krwionośnych powinno wynikać prawidłowe utlenowanie tkanek. W praktyce klinicznej spotykamy się jednak wielokrotnie ze schorzeniami oczu, gdzie obserwujemy zmiany sugerujące niedokrwienie i niedotlenienie, jednak dostępne badania przepływu krwi w obrębie tętnic szyjnych

nie wykazują nieprawidłowości. Być może istnieje patologia w obrębie mikrokrążenia lub w obrębie miejsca określanego jako „bariera krew-tkanka”.

Przedstawione wyniki doświadczenia wskazują, że obniżenie krążenia krwi w obrębie tętnicy szyjnej wspólnej prawej, pomimo zachowania krążenia obocznego powoduje znamienny spadek utlenowania cwkp. Pomiar zawartości tlenu w cwkp może więc być dodatkowym badaniem diagnostycznym wskazującym na niedostateczność krążenia w obrębie gałki ocznej. Inwazyjność metody jednak uniemożliwia w chwili obecnej wykonanie pomiarów utlenowania cwkp oraz innych części oka u człowieka w codziennej praktyce. Zagadnienie to wymaga dalszych badań i rozwiązań technicznych.

## Piśmiennictwo

1. Alder V.A., Cringle S.J.: Vitreal and retinal oxygenation. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalm. 228: 151-157 (1990).
2. Bierzowski W.A.: Napriazhenie kisloroda v tkaniach zivotnyh i celovieka. Izdatelstvo Naukova Dumka, Kijev (1975).
3. Biric T.W.: Oksigenoterapija v oftalmologii. Bielorus. Minsk: 35-39 (1972).
4. Drenckhahn E.O., Lorenzen K.K.: Der Sauerstoffdruck in der Vorderkammer des Auges und die Geschwindigkeit der Sauerstoffaufsättigung des Kammerwassers. Albrecht v. Graefes Arch. Ophthalm. 160: 378-380 (1958).
5. Driest J.: Fortlaufende Sauerstoffpartialdruckmessungen in der Vorderkammer und im Glaskörper des lebenden Auges. Inaugural-Dissertation, Universitäts-Augenklinik, Marburg (1966).
6. Ehrly A.M.: Determination of tissue oxygen pressure in patients. Pergamon Press (1983).
7. Fatt I.: The Aqueous Humor. (w:) Physiology of the Eye. An Introduction to the Vegetative Functions. 16-30. Butterworths (1986).
8. Fields W.S.: Aortocranial Occlusive Vascular Disease (Stroke). Clinical Symposia, tom 26, Nr 4. CIBA (1974).
9. Heinrich A.: Le systeme arteriel du lapin domestique. Ecole Nationale Veterinaire de Lyon. Nr 17 (1955).
10. Hill A.B.: Statystyka dla lekarzy. 133-145. PWN (1962).
11. Huch R., Huch A., Dubbers D.W.: Transcutaneous  $PO_2$ . Thieme Stratton Inc. New York (1981).
12. Kolker A.E., Hetherington J.: Becker-Shaffer's Diagnosis and therapy of the glaucomas. The C.V. Mosby Company, St. Louis Toronto (1983).
13. Linsenmeier R.A.: Electrophysiological consequences of retinal hypoxia. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalm. 228: 144-150 (1990).
14. Moszczyńska-Kowalska A.: Zmiany w narządzie wzroku spowodowane niedostatecznością krążenia w zakresie tętnic szyjnych i kręgowych (w:) Wybrane zagadnienia z okulistyki współczesnej. 54-61. Wyd. CMKP Warszawa (1990).
15. Niesel P.: Messungen von experimentell erzeugten Änderungen der Aderhautdurchblutung bei Kaninchen. 6-7, 41-46. S. Karger, Basel New York (1962).
16. Payne J.P., Hill D.W.: Oxygen Measurements in Biology and Medicine. Butterworths (1975).
17. Pourmaras C.J., Riva C.E., Tsacopoulos M., Strommer K.: Diffusion of  $O_2$  in the retina of anesthetized miniature pigs in normoxia and hyperoxia. Exp. Eye Res. 49: 347-360 (1989).
18. Sakaue H., Negi A., Honda Y.: Comparative Study of Vitreous Oxygen Tension in Human and Rabbit Eyes. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 30: 1933-1937 (1989).
19. Sawicki F.: Elementy statystyki dla lekarzy. PZWL Warszawa (1982).
20. Sek S.: Zastosowanie metod statystycznych w badaniach klinicznych i eksperymentalnych. Skrypt CMKP Warszawa (1978).
21. Stossek K.: Transcutane Sauerstoffmessung. Spinger Verlag (1977).
22. Tsacopoulos M., Lehmenkühler A.: A double-barreled Ft-microelectrode for simultaneous measurement of  $PO_2$  and bioelectrical activity in excitable tissues. Experimentia 33: 1337-1338 (1977).
23. Wolter-Czerwińska H.: Jaskra. Okulistyka współczesna. PZWL Warszawa (1986).
24. Żygulska-Machowa H.: Soczewka i jej choroby. Okulistyka współczesna. PZWL Warszawa (1986).

Praca wpłynęła: 25.05. 1992.