

Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne
Wydawnictwo „VOLUMED”

Ryszard Kacała & Józef Kokoszka

informuje Państwa, że
od 1 sierpnia 1996 roku
nastąpiła zmiana

nazwy, adresu siedziby i biura
wydawnictwa.

Poniżej zamieszczamy
aktualną nazwę i adres:

VOLUMED SC

Ryszard Kacała & Józef Kokoszka
51-423 Wrocław ul. Olsztyńska 3
tel. (0-71) 254 201

Konto Bank Śląski w Katowicach
O/ Wrocław nr: 10501575-502697477
NIP 895-001-22-81

Prace poglądowe

Klinika Oczna 1996, 98 (5): 395-400
ISSN 0023-2157 Indeks 362 646

**Neurofizjologiczne podstawy odruchu optokinetycznego:
obecny stan wiedzy**

Neurophysiological basis of the optokinetic reflex: present state of knowledge

Jürgen Kröller, Frank Behrens

Abstract: The optokinetic nystagmus is a phylogenetically old reflexive reaction of the eyes to the movements of the visual surroundings. Two components can be distinguished: (1) the direct one is considered to represent a cortically transmitted loop through the posterior parietal areas: MT and MST; (2) the indirect component passes through brain stem nuclei. One of them is the pretectal nucleus of the optic tract in which we found neurons related to the velocity of the moving pattern. Since in neurons of the oculomotor nuclei the neuronal activity is related to eye position, integration must take place somewhere in the circuit. The brain stem-mediated indirect component is influenced by the vestibular organs, not only by semicircular canals but also by otoliths.

Słowa kluczowe: oczopląs optokinetyczny, neurofizjologia, pień mózgu, kora mózgowa, badania naczelnych

Key words: optokinetic nystagmus, neurophysiology, brain stem, cortex, primate research

Oczopląs optokinetyczny (OKN) jest filogenetycznie starą, odruchową odpowiedzią oczu na ruch w polu widzenia. Na rycinie 1 przedstawiono oryginalny zapis oczopląsu zarejestrowany przez Collewijną (3). Wyobraźmy sobie zwierzę umieszczone w poruszającym się poziomo bębnie Ohma (półkolistym ekranie z czarno-białymi pasami). Jeżeli ekran jest oświetlony, to oczy poruszają się w charakterystyczny zygzakowaty sposób. Prędkość wolnej fazy oczopląsu zależy wówczas od prędkości poruszających się bodźców świetlnych. Po niej następuje szybka faza oczopląsu. W wyniku nakładania się fazy wolnej i szybkiej OKN powstaje bezpośredni i pośredni komponent oczopląsu. Komponent bezpośredni zależy od połączeń korowych;

komponent pośredni – od funkcji jąder pnia mózgu. W niniejszej pracy przedstawiamy wyniki najnowszych badań w zakresie OKN.

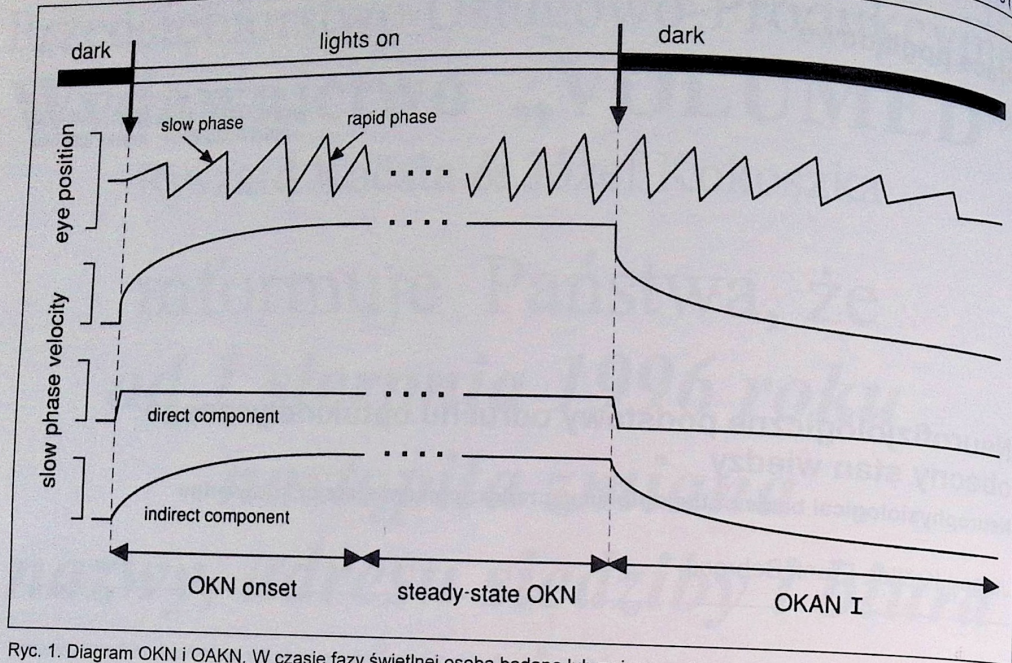
Wolny wzrost pośredniego komponentu OKN można uzyskać w doświadczeniu, w trakcie którego przeprowadzany jest odruchowy. Eksperyment taki przedstawiono na rycinie 2. Bębniem Ohma pobudzano jedno oko (unieruchomione przez podanie botuliny do mięśni okoruchowych), a z drugiego, zasłoniętego, oka rejestrowano OKN. Obserwowano wówczas stopniowy wzrost ruchów zasłoniętej gałki ocznej. Wskazuje to na udział sprzężenia zwrotnego w kształtowaniu wolnej fazy OKN.

Schemat neuronalnych połączeń w trakcie OKN ilustruje rycina 3. Siatkówka zbudowana jest z 3 rodzajów komórek dwupolowych X, Y i W (2). W obrębie komórek W można wyróżnić komórki wrażliwe na kierunek i prędkość poruszającego się bodźca świetlnego. Przekazują one informacje o ruchu bodźca świetlnego do zbudowanego w śródmożgowiu okolicy przedpolowej (pretectal area). Ta z kolei składa się z kilku jąder wzrokowych, z których jedno jest bezpośrednio połączone z jądrem X. Jądro X – NOX jest natomiast przekształcanie poziomu OKN. Corwin i inni w badaniach doświadczalnych na królikach wykazali związek aktywności komórek neu-

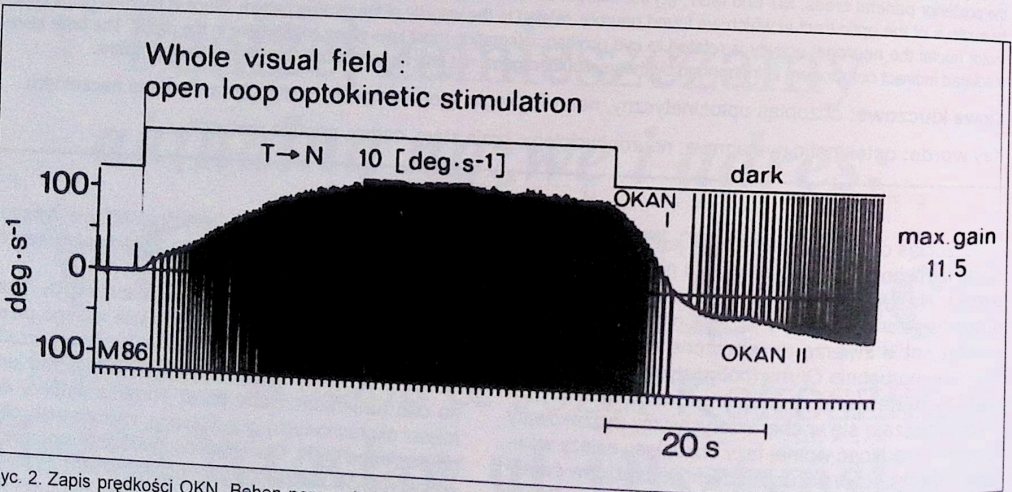
Z Institute of Physiology, Free University of Berlin, Germany
Kierownik: prof. dr med. Peter Langhorst

Tłumaczenie na język polski:
Dr med. Damian Czepita
Katedra i Klinika Okulistyki z Zakładem Patofizjologii Wzroku Wroclaw AM
al. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin

Adres do korespondencji (Reprint requests to)
Prof. Dr med. Jürgen Kröller
Carstennstraße 46 A
12205 Berlin
Germany



Ryc. 1. Diagram OKN i OAKN. W czasie fazy świetlnej osoba badana lub zwierzę patrzy na poruszający się bodziec świetlny
 Fig. 1. Diagram OKN and OAKN. During the light phase the examined person or animal watches the moving light stimulus

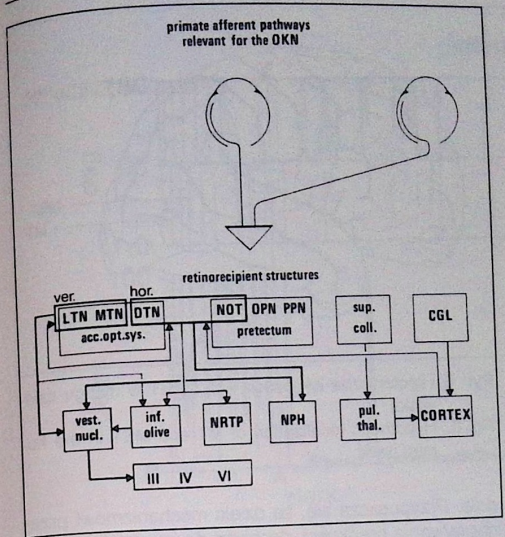


Ryc. 2. Zapis prędkości OKN. Bęben poruszał się w prawą stronę z prędkością 10 stopni/s. Górna część wykresu – prędkość wolnej fazy oczopląsu w prawą stronę. Dolna część wykresu – prędkość ruchów sakadowych w stronę lewą
 Fig. 2. Velocity of OKN. The drum moved to the right at 10 degrees/sec. Upper part – velocity of nystagmus slow phase to the right. Lower part – velocity of saccadic movements to the left

ronalnych NOT z prędkością poruszającego się bodźca świetlnego.
 Na rycinie 4 przedstawiono metodę prowadzenia badań w naszym laboratorium. Małą umieszczano wewnątrz poruszającego się bębna Ohma lub przed ekranem stycznym, na którym prezentowano bodźce optyczne. Ruchy gałek ocznych rejestrowano w sposób ciągły i bardzo precyzyjny dzięki wszczępieniu pod spojówkę obojga oczu wąskiej, stalowej cewki. Za pomocą wprowadzonych do określonych struktur

mózgu mikroelektrod wolframowych rejestrowano odpowiedzi z pojedynczych komórek nerwowych. Zwierzęta w trakcie doświadczeń nie chorowały ani nie cierpiały. Były używane do badań przez kilka tygodni, a nawet kilka miesięcy.

Rejestrowanie odpowiedzi z NOT
 Typowe odpowiedzi z NOT przedstawiono na rycinie 5. Wolnej fazy OKN w prawo towarzyszyła wyso-

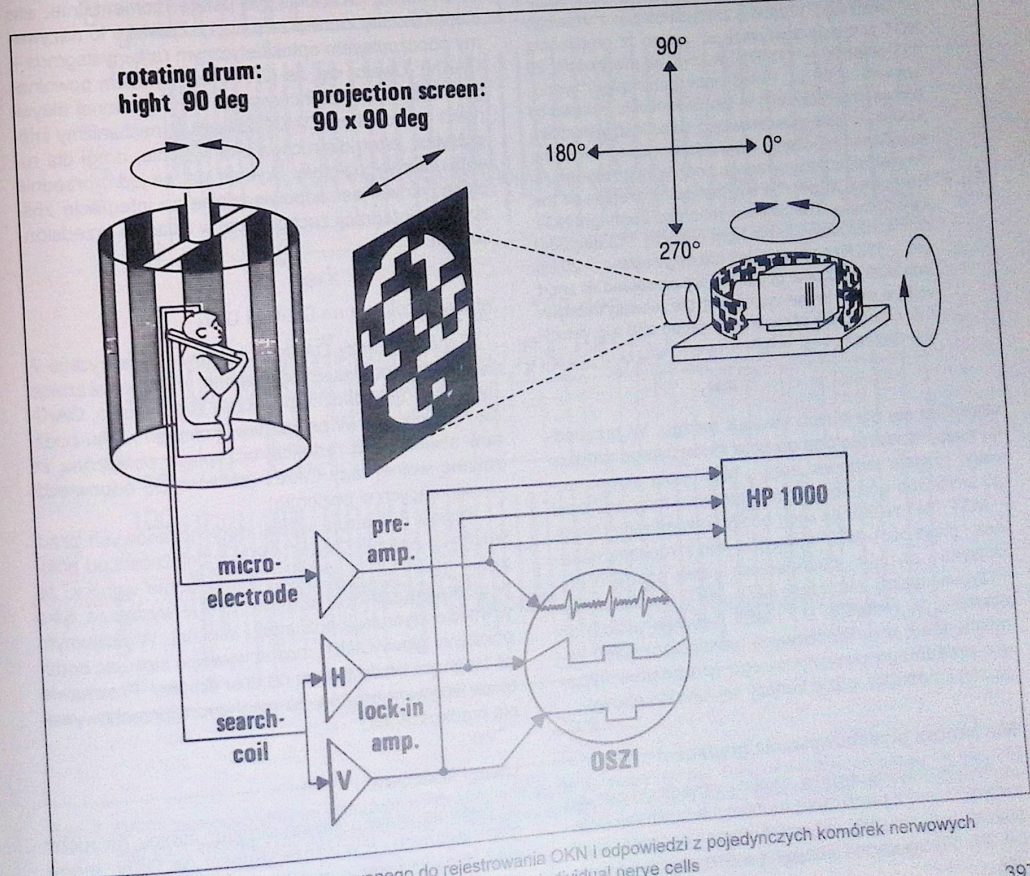


Ryc. 3. Połączenia aksonalne komórek zwojowych odpowiedzialnych za OKN. Jądra dodatkowego systemu optycznego (LTN, MTN, DTN) i NOT otrzymują bodźce z komórek zwojowych wrażliwych na kierunek. Neurony ww. jąder są połączone bezpośrednio z jądrami przedśionkowymi i jądrem przednim podjęzykowym oraz pośrednio poprzez mózdzek z jądrami przedśionkowymi
 Fig. 3. Axonal joints of ganglionic cells responsible for OKN. Nuclei of additional optic system (LTN, MTN, DTN) and NOT receive stimuli from the ganglionic cells sensitive to movement. Neurons of the nuclei are joined directly to the vestibular nuclei and to the prepositus hypoglossi nucleus and indirectly through the cerebellum to the vestibular nuclei

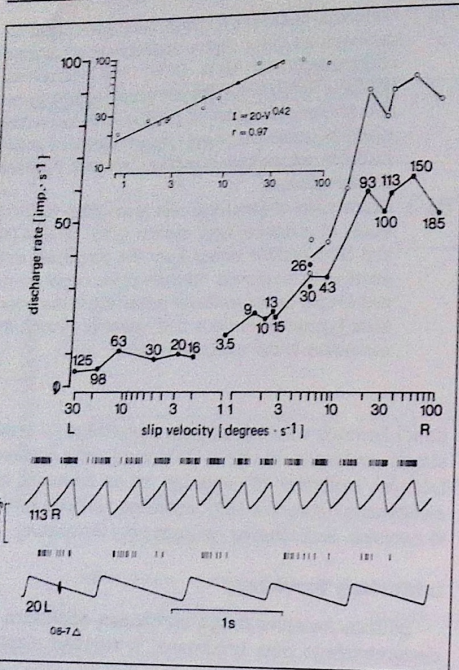
danej komórki na ruch bodźca świetlnego w prawą stronę i wskazuje na udział OKN w odruchu optokinetycznym. Hoffmann (6) sugeruje, że na czynność bioelektryczną neuronów NOT wpływają nie tylko komórki zwojowe, lecz również neurony kory wzrokowej.

Udział kory wzrokowej
 Bodźce świetlne drogą wzrokową dochodzą do siedemnastego pola Brodmanna, a stamtąd rozprze-

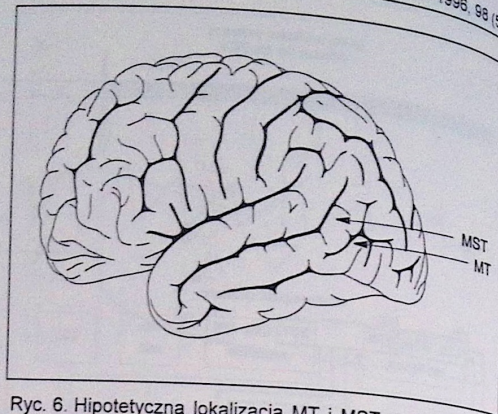
ka aktywność neuronalna, a wolnej fazy OKN w lewo – znaczna redukcja potencjałów czynnościowych. Przemawia to za zdecydowanie większą wrażliwością ba-



Ryc. 4. Schemat wyposażenia stosowanego do rejestrowania OKN i odpowiedzi z pojedynczych komórek nerwowych
 Fig. 4. Equipment used to register OKN and response from individual nerve cells



Ryc. 5. Odpowiedzi neuronu wrażliwego na kierunek bodźca świetlnego. Komórkę zarejestrowano z prawego NOT w czasie stymulacji w prawo (z prędkością 113 stopni/s. – 113 R) i w lewo (z prędkością 20 stopni/s. – 20 L). Pojedyncze potencjały czynnościowe przedstawiono w formie krótkich, pionowych kresek. U góry przedstawiono zależność wskaźnika wyładowań (discharge rate) rejestrowanego neuronu od prędkości przesuwanego bodźca (slip velocity)



Ryc. 6. Hipotetyczna lokalizacja MT i MST w mózgu człowieka
Fig. 6. Hypothetic localization of MT and MST in the human brain

dole. Przypuszcza się, że dzięki mechanizmowi przechowywania prędkości, dochodzi do integracji sygnału związanego z prędkością oraz sygnału związanego z pozycją gałek ocznych (4, 8). Powyższe procesy integracyjne można zaobserwować w sytuacji, gdy wytwarzamy oczopląs optokinetyczny i nagle wyłączamy oświetlenie. Oczopląs nie ustaje momentalnie, ale stopniowo się zmniejsza (ryc. 1). Zjawisko to nazywamy poczoopląsem optokinetycznym (aftermystagmus – OAKN). Uważa się, że OAKN jest wyrazem powolnego uwalniania przechowywanej i zintegrowanej aktywności neuronalnej. OAKN posiada 2 mechanizmy integracyjne: jeden dla ruchów oka w pionie, drugi dla ruchów oka w poziomie. Wydaje się, że jądro przednie podjęzykowe jest odpowiedzialne za integrację zblizoną do integracji zachodzącej w układzie przedsionkowym.

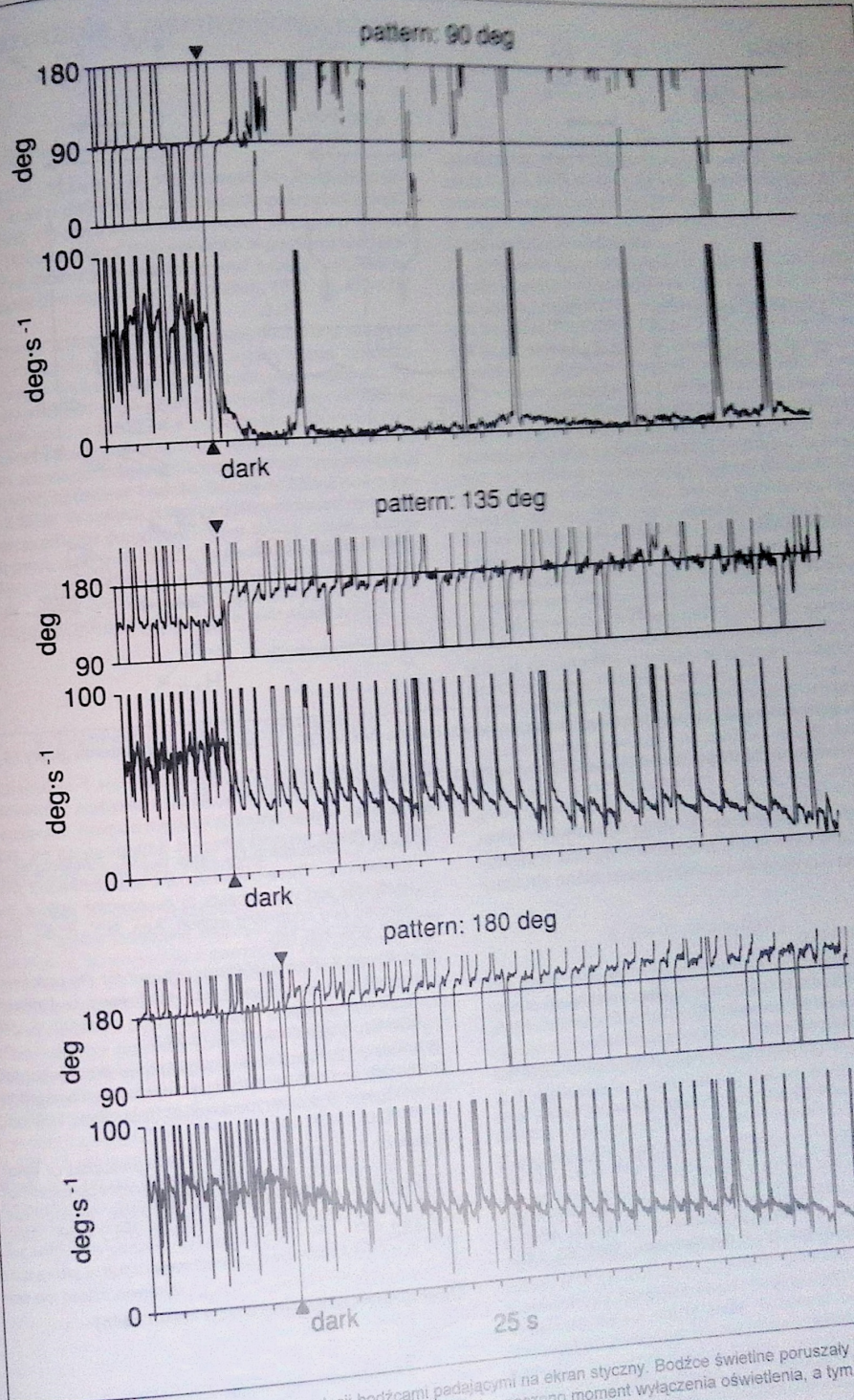
Wpływ otolitów na OAKN i OKN

Typowe obrazy OAKN przedstawiono na rycinie 7. Gdy bodźce poruszały się poziomo, występował znaczny OAKN. Gdy bodźce poruszały się pionowo, OAKN się nie pojawiał. W przypadku skośnego ruchu bodźców stwierdzano redukcję oczopląsu połączoną ze zmianą wolnej fazy OAKN (zblizoną do odpowiedzi występujących w poziomie).

Rycina 8 ilustruje wyniki dotychczasowych prac, w których badano OAKN i OKN w zależności od położenia głowy (4, 5, 7, 8). Z zestawienia wynika, że w pionowym ustawieniu głowy OAKN występuje tylko w trakcie stymulacji poziomej i skośnej. W poziomym położeniu głowy OAKN można wywołać stosując bodźce biegnące przed twarzą od dołu do góry. Przemawia to za wpływem otolitów na mechanizm przechowywania prędkości.

Uwagi końcowe

Badania wpływu innych struktur mózgu na ruchy gałek ocznych, a w szczególności na OKN, mogą mieć duże znaczenie w diagnostyce i poznaniu patomechanizmu wielu chorób ośrodkowego układu nerw.

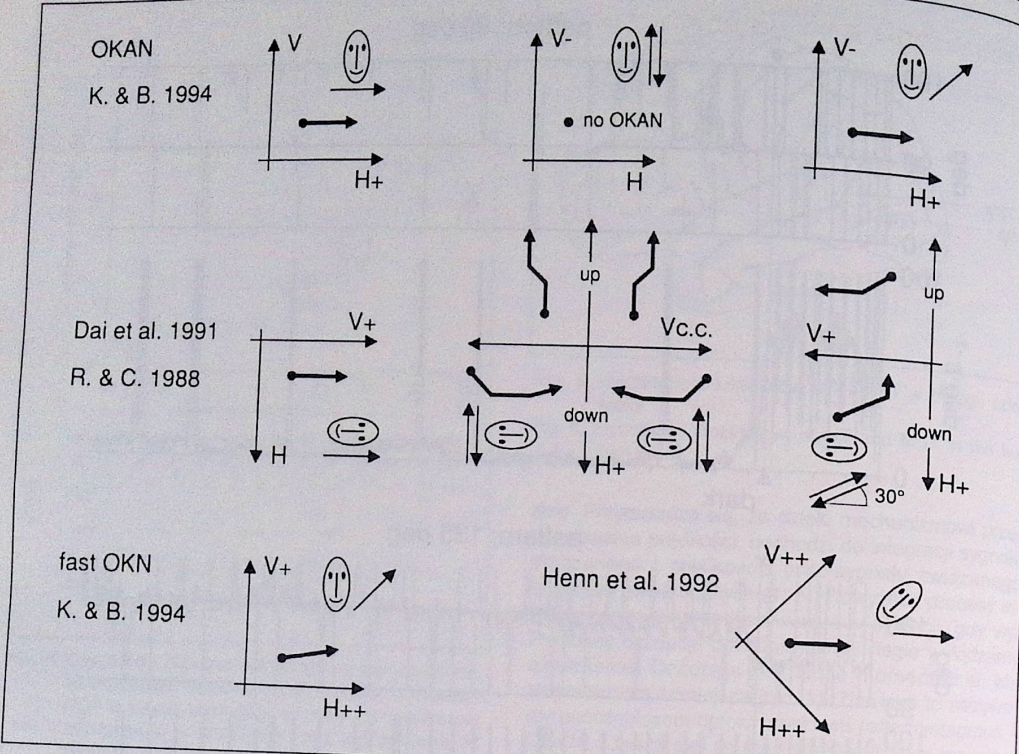


Ryc. 7. OAKN zarejestrowany po stymulacji bodźcami padającymi na ekran styczny. Bodźce świetlne poruszały się pionowo (kąt 90°), skośnie (135°) i poziomo (180°). Trójkątami oznaczono moment wyłączenia oświetlenia, a tym samym rozpoczęcia się OAKN
Fig. 7. OAKN recorded after the stimulation with stimuli falling on tangent screen. Light stimuli moved vertically (90°), obliquely (135°) and horizontally (180°). Switching off the light is marked by triangles (beginning of OAKN)

strzeniają się do innych struktur mózgu. W przypadku małpy docierają one do pola skroniowego środkowego (middle temporal area – MT) i pola skroniowego środkowo-górnego (middle superior temporal area – MST). MT rejestruje ruch bodźca świetlnego (kierunek i prędkość). MST związane jest z ruchami saka-dowymi i płynnym podążaniem gałek ocznych (1). Przypuszczalną lokalizację MT i MST u ludzi przedstawiono na rycinie 6. MT i MST wysyłają włókna do mostu, jąder przedsionkowych (vestibular nuclei), jądra przedniego podjęzykowego (prepositus hypoglossi) i mózdzku, gdzie kończy się łuk odruchowy.

Mechanizm przechowywania prędkości

Aktywność neuronów okolicy przedpokrywowej związana jest z prędkością ruchomych bodźców świetlnych, podczas gdy aktywność jąder okoruchowych (III, IV, VI) zależy od pozycji gałek ocznych w oczo-



Ryc. 8. Zestawienie wyników dotychczasowych prac, w których badano OAKN i OKN w zależności od położenia głowy (4, 5, 7, 8)
 Fig. 8. Results of the studies on OAKN and OKN in relation to the position of the head (4, 5, 7, 8)

wowego. Otrzymane wyniki mogą być również wykorzystane w wyjaśnieniu procesów integracji, przechowywania i uwalniania informacji przez różne struktury mózgu.

Piśmiennictwo

1. Andersen R., Gnadt J.W.: *Posterior parietal cortex*. [w:] B. Wurtz, M. Goldberg (red.): *The neurobiology of saccadic eye movements*. Elsevier, Amsterdam, 1989, 315-335.
2. Bishop P.O.: *Processing of visual information within the retinostriate system*. [w:] *Handbook of physiology*, t. 3. American Physiological Society, Bethesda, 1981, 341-424.
3. Collewijn H.: *The oculomotor system of the rabbit and its plasticity*. Springer, Berlin, 1981.
4. Dai M., Raphan T., Cohen B.: *Spatial orientation of the vestibular system: dependence of optokinetic after-nystagmus on gravity*. *J. Neurophysiol.*, 1991, 66, 1422-1439.

5. Henn V., Straumann D., Hess B.J.M., Haslwanter T., Kawachi N.: *Three-dimensional transformations from vestibular and visual inputs to oculomotor output*. [w:] *Sensing and controlling motion*. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1992, 656, 166-180.
6. Hoffmann K.-P.: *Visual inputs relevant for the optokinetic nystagmus in mammals*. [w:] H.J. Freund, U. Büttner, B. Cohen, J. Noth: *Progress in brain research*, T. 65. Elsevier, Amsterdam, 1986, 75-84.
7. Kröller J., Behrens F.: *Investigations of the horizontal, vertical, and oblique optokinetic nystagmus and after-nystagmus in squirrel monkeys*. *J. Vest. Res.*, 1995, 5, 171-186.
8. Raphan T., Cohen B.: *Organizational principles of velocity storage in three dimensions*. [w:] *Representation of three dimensional space in the vestibular, oculomotor, and visual system*. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1988, 545, 74-92.

Praca wpłynęła do Redakcji 6 maja 1996 r. (445)

Streszczenia z piśmiennictwa obcego

5. Diagnostyka, terapia, farmakologia

Mendivil A., Cuartero V., Paz Mendivil M.: *Prędkość przepływu krwi u pacjentów z retinopatią cukrzycową proliferacyjną i u zdrowych ochotników: badania prospektywne (Ocular blood flow velocities in patients with proliferative diabetic retinopathy and healthy volunteers: a prospective study)*. *Br. J. Ophthal.*, 1995, 79, 413-416.

Autorzy porównali prędkość przepływu krwi w następujących naczyniach krwionośnych: tętnicy ocznej, tętnicach rzęskowych tylnych, naczyniach środkowych siatkówki i żyłach wirowatych u 25 chorych z retinopatią cukrzycową proliferacyjną, w tym u 16 z cukrzycą insulinozależną i u 9 z insulino niezależną, oraz u 30 zdrowych ochotników. Do z wykonanej aparatem Toshiba Sonolayer SSA-270 A z głowicą 5 MHz. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że prędkość przepływu krwi w tętnicy ocznej i tętnicy środkowej siatkówki była znacząco mniejsza u chorych z cukrzycą niż u zdrowych ochotników. Nie znaleziono korelacji pomiędzy wiekiem a prędkością przepływu ani pomiędzy ciśnieniem a prędkością przepływu w naczyniach żylnych.

Małgorzata Karolczak-Kulesza

5. Diagnostyka, terapia, farmakologia

Williamson T.H., Baxter G.M.: *Zakrzep żyły środkowej siatkówki, badanie z zastosowaniem kolorowej ultrasonografii dopplerowskiej (Central retinal vein occlusion, an investigation by color Doppler imaging)*. *Ophthalmology*, 1994, 101, 1362-1372.

Autorzy oceniali prędkość przepływu krwi w tętnicy ocznej, tętnicy środkowej siatkówki oraz w żyłach środkowej siatkówki u 90 pacjentów z zakrzepem żyły środkowej siatkówki oraz u 95 pacjentów z grupy kontrolnej. W badaniach zastosowano kolorową ultrasonografię dopplerowską. W celu oceny stopnia ukrwienia siatkówki, wykonywano oftalmoskopię pośrednią, mierzono stopień uszkodzenia drogi dośrodkowej odrodru na światło, przeprowadzono angiografię fluoresceinową, videoangiografię, elektroretinografię. Prędkość przepływu w żyłach środkowej siatkówki i w tętnicy środkowej siatkówki była niższa u pacjentów z CRVO niż w grupie kontrolnej. Stwierdzono, że w zdrowym oku ryzyko nowotworzenia się naczyniowego na tęczówce (0-3 miesiące) jest związane ze zmniejszeniem prędkości przepływu. Przeprowadzone badania wskazują, że kolorowa ultrasonografia dopplerowska może odgrywać dużą rolę w rutynowym badaniu pacjentów z CRVO w okresie do trzech miesięcy.

Małgorzata Karolczak-Kulesza

8. Spojówka, rogówka, twardówka

Bourne W.M., Hodge D.O., Nelson L.R.: *Śródbłonek rogówki pięć lat po jej przeszczepie (Corneal endothelium five years after transplantation)*. *Am. J. Ophthalmol.*, 1994, 118, 185-196.

Autorzy przebadali śródbłonek rogówki w 394 oczach (spośród 500 oczu z przeszczepioną rogówką) po 2 miesiącach, 1 roku, 3 i 5 latach po zabiegu. Z analizy wyliczono 36 chorych z przeszczepami powtórnymi i 70 z przeszczepami w drugim oku. Autorzy zaobserwowali epizody odrzucenia i niepowodzenia przeszczepu.

W badaniu 129 przeszczepów u pacjentów, którzy zgłosili się na wszystkie badania kontrolne i nie wykazywali objawów odrzucenia, stwierdzono zmniejszanie się gęstości komórek śródbłonek rogówki średnio o 7,8% rocznie (w okresie 3-5 lat po zabiegu). W grupie kontrolnej, w nie operowanych, prawidłowych rogówkach, proces ten postępował w tempie 0,5% rocznie. Średnia utrata komórek 5 lat po zabiegu keratoplastyki wynosiła 58,9% względem okresu przedoperacyjnego. W ciągu 5 lat po zabiegu nie powróciła też do wartości przedoperacyjnych liczba komórek sześciokątnych, co wskazuje, że śródbłonek rogówki jest w tym okresie nadal niestabilny. W miarę upływu czasu znacząco wzrastała średnia grubość rogówki. Wskaźniki Kaplan-Meier odrzucenia lub niepowodzenia przeszczepu wynosiły 5 lat po zabiegu odpowiednio 19 i 17%. Utrata komórek śródbłonek w ciągu 5 lat po keratoplastyce była większa w oczach z wszczepionymi soczewkami tylnokomorowymi niż w oczach z wszczepionymi soczewkami przedniokomorowymi. Niska gęstość komórek śródbłonek okazała się statystycznie znacząco skomplikowana ze wzrastającą grubością rogówki i zwiększonym ryzykiem niepowodzenia przeszczepu. W 5 lat po keratoplastyce komórki śródbłonek w centralnej części rogówki tworzyły niestabilną, pojedynczą warstwę, wykazującą przyspieszoną utratę komórek i nieprawidłową morfologię. Skutkiem tego procesu jest mała liczba komórek śródbłonek w centralnej części przeszczepu, co wiąże się z obrzękiem zębów rogówki i odrzuceniem przeszczepu. Zatem dekompensacja śródbłonek rogówki często staje się przyczyną niepowodzeń przeszczepów rogówki.

Małgorzata Karolczak-Kulesza

9. Błona naczyniowa

Holz E.G., Wagner D.G., Bird A.C.: *Nawracająca naczyniówkowa neowaskularyzacja po fotokoagulacji laserowej w dystrofii dna Sorsby'ego (Recurrent choroidal neovascularization after laser photocoagulation in Sorsby's fundus dystrophy)*. *Retina*, 1994, 14, 4, 329-333.

Dystrofia dna Sorsby'ego charakteryzuje się obecnością zmian w tylnym biegunie dna oka, głównie w okolicach plamki, powstałych w wyniku neowaskularyzacji naczyniówki w 4.-5. dekadzie życia. W środkowej części błony Brucha gromadzi się materiał grubości 30 µm, wyglądający jak żółty zióg lub druz. W wyniku tego występuje znaczne obniżenie ostrości wzroku i ubytek widzenia centralnego. Badaniami objęto 10 oczu siedmiu pacjentów z tą chorobą, z początkową ostrością wzroku 6/12 lub lepszą. U wszystkich wykonano angiografię fluoresceinową, która ujawniła pola neowaskularyzacji 200 µm od centrum dołka z „niemą” strefą. Wykonano fotokoagulację laserową tych zmian laserem argonowym; ogniska miały wielkość 200 µm i nie przekraczały brzozy nowych naczynek naczyniówkowych. Przeprowadzone po 3 tygodniach badania kontrolne wykazały w 5 oczach obecność przetłwałej i w 5 oczach - nawracającej neowaskularyzacji. Ponowne leczenie tych oczu fotokoagulacją laserową nie przyniosło poprawy.