

Вплив комплексного лікування з використанням транскраніальної мікрополяризації на мозковий кровообіг у пацієнтів, які хворі на дитячий церебральний параліч

К. В. Яценко^{1,2}, Т. В. Тараненко^{2,3}, Ф. В. Юрченко⁴, Г. Г. Скибо¹

¹Інститут фізіології імені О. О. Богомольця Національної академії наук України, Київ, ²«Неврологічна клініка доктора Яценко», м. Київ, Україна, ³Національна медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика, м. Київ, Україна, ⁴Клінічна лікарня «Феофанія» Державного управління справами, м. Київ, Україна

Між активністю головного мозку та мозковим кровообігом є тесний зв'язок. Транскраніальна мікрополяризація (ТМП) модулює активність кори головного мозку і в такий спосіб впливає на мозковий кровообіг.

Мета роботи – дослідження впливу комплексного лікування з застосуванням ТМП на мозковий кровообіг у пацієнтів, які хворі на дитячий церебральний параліч (ДЦП).

Матеріали та методи. Під час дослідження обстежено та комплексно проліковано 60 хворих із різними формами ДЦП. До порівняльної групи осіб увійшло 30 дітей, яким здійснили базисні лікувально-реабілітаційні заходи; до основної – 30 дітей, яким на тлі базисної терапії додатково проводили курс ТМП. Метод транскраніальної доплерографії судин голови використовували для дослідження мозкової гемодинаміки дітей із ДЦП до та після комплексного лікування з застосуванням методу ТМП.

Результати. ТМП зменшувала коефіцієнт асиметрії кровообігу по середнім мозковим артеріям (СМА) на 12,3 %, тоді як у групі порівняння тільки на 2,5 %; по переднім мозковим артеріям (ПМА) – на 9,5 %, а у групі порівняння цей показник становив 0,8 %. ТМП вірогідно зменшувала високі середні швидкості кровообігу за цикл (СШК) по базилярній артерії (БА), СМА та ПМА (на 21,7 %, 18,3 % та 7,8 % відповідно); у групі порівняння вірогідної позитивної динаміки не відзначено. ТМП вірогідно збільшувала низькі СШК по БА, СМА та ПМА (на 29,7 %, 21,2 %, 9,7 % відповідно). Статистично вірогідне зростання СШК на 9,9 % було лиш по СМА в пацієнтів групи порівняння.

Висновки. Дані свідчать, що використання методу транскраніальної мікрополяризації в комплексному лікуванні хворих на ДЦП поліпшує показники мозкової гемодинаміки у 87 % осіб на відміну від 52 % у групі порівняння. Додавання методу транскраніальної мікрополяризації в комплексне лікування хворих на ДЦП підвищує ефективність лікування, а також може позитивно впливати на клінічний перебіг захворювання.

Ключові слова:

транскраніальна мікрополяризація, дитячий церебральний параліч, транскраніальна доплерографія судин голови.

Запорізький медичний журнал. – 2017. – Т. 19, № 1(100). – С. 81–85

DOI: 10.14739/2310-1210.2017.1.91720

E-mail: katelyna.yatsenko@gmail.com

Влияние комплексного лечения с использованием транскраниальной микрополяризации на мозговой кровоток у пациентов с детским церебральным параличом

Е. В. Яценко, Т. В. Тараненко, Ф. В. Юрченко, Г. Г. Скибо

Между активностью головного мозга и мозговым кровотоком существует тесная связь. Транскраниальная микрополяризация (ТМП) модулирует активность коры головного мозга и таким образом влияет на мозговой кровоток.

Цель работы – исследование влияния комплексного лечения с применением ТМП на мозговой кровоток у пациентов с детским церебральным параличом (ДЦП).

Материалы и методы. В ходе исследования было обследовано и комплексно пролечено 60 больных с различными формами ДЦП. В группу сравнения, где проводили базисные лечебно-реабилитационные мероприятия, вошло 30 детей, в основную – 30 детей, которым на фоне базисной терапии дополнительно проводили курс ТМП. Метод транскраниальной доплерографии сосудов головы использовали для исследования мозговой гемодинамики детей с ДЦП до и после комплексного лечения с применением метода ТМП.

Результаты. ТМП уменьшала коэффициент асимметрии кровотока по средним мозговым артериям (СМА) на 12,3 %, тогда как в группе сравнения только на 2,5 %; по передним мозговым артериям (ПМА) – на 9,5 %, а в группе сравнения этот показатель составлял 0,8 %. ТМП достоверно уменьшала высокие средние скорости кровотока за цикл (ССК) по базилярной артерии (БА), СМА и ПМА (на 21,7 %, 18,3 % и 7,8 % соответственно); в группе сравнения статистически достоверной позитивной динамике отмечено не было. ТМП достоверно увеличивала низкие ССК по БА, СМА и ПМА (на 29,7 %, 21,2 % и 9,7 % соответственно); статистически достоверное возрастание ССК на 9,9 % было только по СМА у пациентов группы сравнения.

Выводы. Полученные данные свидетельствуют, что использование метода ТМП в комплексном лечении больных ДЦП улучшает показатели мозговой гемодинамики у 87 % лиц в отличие от 52 % в группе сравнения. Добавление метода транскраниальной микрополяризации в комплексное лечение больных ДЦП повышает эффективность лечения, а также может положительно влиять на клиническое течение заболевания.

Ключевые слова:

транскраниальная микрополяризация, детский церебральный паралич, транскраниальная доплерография сосудов головы.

Запорожский медицинский журнал. – 2017. – Т. 19, № 1(100). – С. 81–85

DOI: 10.14739/2310-1210.2017.1.91720

E-mail: katelyna.yatsenko@gmail.com

The effect of combined treatment with transcranial direct current stimulation on cerebral blood flow in patients with cerebral palsy

K. V. Yatsenko, T. V. Taranenko, F. V. Yurchenko, G. G. Skibo

There is a close link between the activity of the brain and cerebral blood supply. Transcranial direct current stimulation (tDCS) modulates the activity of the cerebral cortex and thus affects the cerebral blood flow.

Key words:

transcranial direct current stimulation, cerebral palsy, doppler transcranial ultrasonography.

The aim of the study was to investigate the effect of combined treatment with tDCS on cerebral blood flow in patients with cerebral palsy (CP).

Materials and Methods. 60 patients with various forms of cerebral palsy were examined and received the course of treatment. The comparison group was formed from 30 children who received the course of basic medical and rehabilitation procedures. The main group included 30 children who, in addition to the same therapy, received a course of tDCS. A transcranial Doppler ultrasound examination of head blood vessels was used for the study of cerebral hemodynamics in children with cerebral palsy before and after combined treatment with tDCS.

Results. tDCS reduced asymmetry coefficient of blood flow velocity in the middle cerebral arteries (MCA) by 12.3 %, whereas in the comparison group only by 2.5 %; in the anterior cerebral artery (ACA) – 9.5 %, while in the comparison group – 0.8 %. tDCS significantly reduced the high mean blood flow velocity per cycle (MFV) in the basilar artery (BA), MCA and ACA (21.7 %, 18.3 % and 7.8 %, respectively); in the comparison group no statistically significant positive dynamics was observed. tDCS significantly increased the low MFV in the BA, MCA and ACA (29.7 %, 21.2 % and 9.7 % respectively); a statistically significant increase of MFV by 9.9 % was only in the CMA in the comparison group of patients.

Conclusions. Our data indicate that the use of tDCS in the combined treatment of CP patients improves cerebral hemodynamics in 87 % of patients, in contrast to 52 % in the comparison group. The addition of transcranial direct current stimulation method to the complex treatment of patients with cerebral palsy improves the effectiveness of treatment and may also positively influence on the disease clinical course.

Незважаючи на успіхи в дослідженні патогенезу дитячого церебрального паралічу, сучасна терапія ДЦП дає можливість, в основному, тільки контролювати темпи відновлення функцій і позитивно впливати на якість життя пацієнтів. Поряд з тим використання лікарських препаратів нерідко призводить до виникнення ускладнень, що унеможливує подальше проведення медикаментозної терапії. Тому особливий інтерес для лікування ДЦП викликає неінвазивний перспективний інструмент моделювання активності мозку – транскраніальна мікрополяризація (ТМП). ТМП – це різновид нейростимуляції, що дає змогу змінювати функціональний стан різних ділянок ЦНС під дією малого постійного струму (до 1 мА), котрий можна порівняти з біопотенціалами нейронів, що дає можливість застосовувати цей метод навіть у малюків [1]. Спрямованість впливу постійного струму досягається шляхом використання електродів малої площини (100–600 мм²), що розташовуються на відповідних коркових (фронтальна, моторна та інші ділянки) проєкціях головного мозку. Ефекти ТМП залежать від розміру, полярності та положення електродів, сили струму, тривалості стимуляції, а також властивостей тканини. ТМП дає можливість спрямовано впливати не тільки на коркові структури, які знаходяться в піделектродному просторі, а й через систему кортикофугальних і транссинаптичних зв'язків впливати на стан структур мозку, що розташовані нижче, зокрема гіпоталамус [1].

Збудження гіпоталамуса супроводжується виділенням вазопресину в гіпофізі та адреналіну в наднирниках з їхньою дальшою дією на серце, судини, а також виділенням реніну нирками в результаті прямих нейрогенних впливів на їхній юктагломерулярний апарат. Кінцевим результатом цього процесу є підвищення артеріального тиску внаслідок посиленого утворення та наростання у крові ангіотензину II. Отже, реалізується гіпоталамічний вплив на кровоносну систему гуморальним шляхом (центральний механізм впливу ТМП на мозковий кровообіг).

Однією з унікальних особливостей мозкового кровообігу є тісний структурний і функціональний контакт між кровоносними судинами, нейронами та гліальними клітинами. Hawkins і Davis запропонували концепцію нейроваскулярної одиниці, котра складається з ендотеліальних клітин, клітин мозку та позаклітинного матриксу й функціонує як єдине ціле за допомогою біохімічного

сигналіну [2]. Відомо, що астроцити відіграють важливу роль у регулюванні мозкового кровообігу [3].

Показано, що ТМП завдяки прямому впливу на нейрони, які знаходяться в піделектродному просторі, модулює синаптичну передачу шляхом регулювання нейромедіаторів, таких як ГАМК, глутамат, серотонін, дофамін тощо [4]. Нейромедіатори, що вивільняються з активних нейронів, викликають збільшення Ca²⁺ в астроцитах, що спричиняє вивільнення вазоактивних метаболітів арахідонової кислоти з астроцитарних ніжок, які розташовані на кровоносних судинах [2,3]. Синтез простагландину E₂ та епоксієйкозатрієнової кислоти розширює кровоносні судини, водночас як 20-гідроксієйкозатетраєнова кислота звужує судини. Вивільнення K⁺ з астроцитних ніжок також може сприяти вазодилатації [5] (локальний механізм впливу ТМП на мозковий кровообіг).

Беручи до уваги тісний взаємозв'язок між активністю нейронів і мозковим кровообігом, очікується, що ТМП має впливати на гемодинаміку, збільшуючи перфузію мозку, як показано в дослідженнях на тваринах [6] і людях [7].

ТМП може бути використана як окремих терапевтичний метод, так і в поєднанні зі стандартною терапією для корегування збудливості кори головного мозку та покращення рухової активності в пацієнтів із різними неврологічними розладами [8]. Показано, що ТМП не спричиняє патологічних реакцій у дітей, а тому може застосовуватися як метод лікування в дитячій неврології [9].

Мета роботи

Дослідити вплив комплексного лікування з застосуванням транскраніальної мікрополяризації на мозковий кровообіг у пацієнтів, які хворі на ДЦП.

Матеріали і методи дослідження

Під час дослідження обстежено та комплексно проліковано 60 хворих (вік – 2–12 років) із різними формами ДЦП на базі «Неврологічної клініки доктора Яценко» (м. Київ). Оскільки показники мозкової гемодинаміки варіюють залежно від віку дитини, то під час транскраніальної доплерографії враховували показники фізіологічної норми мозкового кровотоку, що характерні

для певного віку. Дітей поділили на дві рандомізовані за своїми основними параметрами (стать і вік) групи. До першої (порівняльної) групи увійшло 30 дітей, яким здійснили базисні лікувально-реабілітаційні заходи, до другої (основної) – 30 дітей, яким на тлі базисної терапії додатково проводили курс транскраніальної мікрополяризації (ТМП).

Базисна терапія містила традиційний комплекс лікувально-реабілітаційних заходів, що комбінувались між собою залежно від індивідуальних потреб пацієнта: кінезіотерапія; біомеханічна стимуляція м'язів; педагогічна, логопедична корекція; масаж і лікувальна фізкультура.

Перед початком курсу лікування дітей виконали клінічне обстеження: збір скарг за загальноприйнятою методикою, вивчення анамнезу, соматико-неврологічне обстеження, інструментально-функціональну діагностику (електроенцефалографія, електронейроміографія). Комплексне обстеження дітей здійснили й суміжні спеціалісти (логопед, психолог-дефектолог, реабілітолог та інші) за загальноприйнятими методиками.

Для встановлення діагнозу «дитячий церебральний параліч» у нашій роботі використовували клінічну класифікацію ДЦП [10]. Найбільшу частку становили пацієнти зі спастичною диплегією – 36 % в основній групі та 41 % – у групі порівняння; з подвійною геміплегією було 30 % (у групі порівняння – 12 %) пацієнтів; із геміплегією (геміпаратетичною) формою – 19 % (26 %); з атонічно-астатичною формою – 13 % (18 %) та з гіперкінетичною формою – 2 % (3 %) відповідно.

Транскраніальна мікрополяризація виконувалась за допомогою сертифікованого апарата для мікрополяризації «Реамед-Полярис» (Санкт-Петербург, Російська Федерація). Електроди розташовували на шкірі голови згідно з розробленими індивідуальними схемами лікування залежно від локалізації патології. Курс лікування складався з 10 щоденних 40-хвилинних сеансів.

Метод транскраніальної доплерографії судин голови (ТДГ) використовували для дослідження мозкової гемодинаміки дітей із ДЦП до та після комплексного лікування з застосуванням методу ТМП. ТДГ – це неінвазивний, нешкідливий, високоінформативний і доступний метод ультразвукового дослідження судин головного мозку, що дає можливість оцінити швидкість кровообігу в інтракраніальних судинах для виявлення гемодинамічно значущих змін. Доплерографічне дослідження здійснили в положенні лежачи (голова – по середній лінії) у стані спокою на аналізаторі «Ангюдин» («БІОСС», Російська Федерація) за стандартною методикою з використанням імпульсного режиму і транскраніального зонда з частотою випромінювання 2 МГц.

Підлягали локації магістральні судини голови: середня (СМА), передня (ПМА) мозкові артерії та базиллярна артерія (БА). Для оцінювання мозкової гемодинаміки та стану кровообігу в магістральних артеріях голови в дітей аналізували максимальну систолічну швидкість кровообігу, кінцеву діастолічну швидкість, середню швидкість кровообігу за цикл (СШК) і коефіцієнт асиметрії (КА), який розраховували за формулою: $KA = ((V2 - V1) / V1) \times 100\%$, де $V1$ і $V2$ – середня швидкість кровообігу в парних артеріях.

Підтвердження терапевтичної ефективності комплексного методу лікування в основній групі з використан-

ням ТМП щодо групи порівняння здійснювалось методом варіаційної статистики. Порівняння середніх значень досліджуваних показників виконали за допомогою t-критерію Стюдента при нормальному розподілі показників. Відповідність закону нормального розподілу ознак перевіряли з використанням критерію Шапіро–Уїлка. Дані наведені у вигляді середнього арифметичного (M) і стандартної похибки вибірки (m). Статистично значущими вважали відмінності за умов $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Для оцінювання терапевтичної ефективності комплексного методу лікування з використанням транскраніальної мікрополяризації в основній групі аналізували клінічні дані, що отримані до здійснення терапії та після завершення лікувального процесу. Згідно з даними первинного комплексного клініко-нейрофізіологічного обстеження, в обох групах дітей із ДЦП виявлені функціональні та органічні розлади стану ЦНС.

Результати транскраніальної доплерографії судин голови дітей, які хворі на ДЦП, обох груп спостереження свідчили про наявність патології мозкової гемодинаміки різного ступеня.

Практично в усіх хворих на ДЦП відзначали ті або інші порушення мозкового кровообігу в магістральних артеріях голови: гемодинамічно значуща (більше ніж 15 %) асиметрія кровообігу по СМА і ПМА; високі швидкості кровообігу по БА, СМА і ПМА; низькі швидкості кровообігу по БА, СМА і ПМА тощо.

Дані виконаного ТДГ-обстеження показали: діти з ДЦП обох груп під впливом терапії здебільшого мали сприятливі зміни мозкової гемодинаміки. Позитивні зміни мозкового кровообігу спостерігали у 87 % пацієнтів

Таблиця 1. Динаміка ТДГ-патернів транскраніальної доплерографії в дітей із ДЦП порівняльної та основної груп спостереження під впливом курсу лікування

Показник, одиниці вимірювання	Група порівняння, n = 30, кількість дітей (%)		Основна група, n = 30, кількість дітей (%)	
	До лікування	Після лікування	До лікування	Після лікування
Гемодинамічно значуща (більше ніж 15 %) асиметрія кровообігу по СМА	40,7 %	34,8 %	39,0 %	15,0 %
Δ	5,9 %		24,0 %	
Гемодинамічно значуща (більше ніж 15 %) асиметрія кровообігу по ПМА	16,9 %	11,7 %	17,4 %	4,7 %
Δ	5,2 %		12,7 %	
Високі швидкості кровообігу:				
– по БА	52,0 %	40,0 %	53,7 %	17,3 %
Δ	12,0 %		36,4 %	
– по СМА	20,1 %	16,3 %	20,7 %	6,3 %
Δ	3,8 %		14,4 %	
– по ПМА	12,4 %	7,6 %	12,9 %	1,6 %
Δ	4,8 %		11,3 %	
Низькі швидкості кровообігу:				
– по БА	40,9 %	33,5 %	41,2 %	10,2 %
Δ	7,4 %		31,0 %	
– по СМА	69,8 %	52,7 %	68,7 %	21,7 %
Δ	17,1 %		47,0 %	
– по ПМА	30,2 %	23,7 %	33,8 %	9,7 %
Δ	6,5 %		24,1 %	

Таблиця 2. Коефіцієнт асиметрії кровообігу по СМА та ПМА дітей із ДЦП порівняльної та основної груп спостереження під впливом курсу лікування

Група	КА кровообігу по СМА, %	КА кровообігу по ПМА, %
Порівняльна, n=30:		
до лікування	17,3	13,2
після лікування	14,8	12,4
Δ, %	2,5	0,8
Основна, n=30:		
до лікування	18,1	14,7
після лікування	5,8	5,2
Δ, %	12,3	9,5

Таблиця 3. Середня швидкість кровообігу в дітей із ДЦП порівняльної та основної груп спостереження під впливом лікування

Патерн ТДГ, М±m, см/с	Група порівняння, n=30		Основна група, n=30	
	До лікування	Після лікування	До лікування	Після лікування
Високі швидкості кровообігу:				
- по БА	65,9±1,23	62,4±1,02	67,3±1,04	52,7±0,74*
Δ, %	-5,3		-21,7	
- по СМА	97,9±1,06	92,4±1,32	99,6±0,9	81,4±1,02*
Δ, %	-5,6		-18,3	
- по ПМА	65,4±0,9	64,1±1,07	65,3±1,4	60,2±1,24*
Δ, %	-1,9		-7,8	
Низькі швидкості кровообігу:				
- по БА	39,7±1,07	42,1±1,24	37,0±0,49	52,6±1,03*
Δ, %	+5,7		+29,7	
- по СМА	56,1±1,06	62,3±1,37*	54,9±1,04	69,7±1,27*
Δ, %	+9,9		+21,2	
- по ПМА	50,4±0,78	52,3±0,75	51,4±0,49	56,9±1,22*
Δ, %	+3,6		+9,7	

*: статистично вірогідні відмінності (p < 0,05); n: кількість досліджених осіб у групі.

основної групи та в 52 % осіб групи порівняння.

Аналіз результатів доплерографічного обстеження судин голови здійснили шляхом виділення специфічних ТДГ-патернів (табл. 1):

1. Гемодинамічно значуща (більше ніж 15 %) асиметрія кровообігу по СМА.

2. Гемодинамічно значуща (більше ніж 15 %) асиметрія кровообігу по ПМА.

3. Високі швидкості кровообігу по БА, СМА і ПМА.

4. Низькі швидкості кровообігу по БА, СМА і ПМА.

Для оцінювання рівня порушень мозкової гемодинаміки та стану кровообігу в магістральних артеріях голови в дітей із ДЦП до та після комплексного лікування із ТМП застосовували коефіцієнт асиметрії (КА) кровообігу по СМА та ПМА. Результати аналізу КА в дітей із ДЦП обох груп наведені в таблиці 2.

Після комплексного лікування із застосуванням ТМП у дітей основної групи відзначали зменшення КА кровообігу по СМА на 12,3 %, тоді як у порівняльній групі – на 2,5 %. Позитивна динаміка також зафіксована і щодо КА кровообігу по ПМА. У дітей основної групи, яким виконували ТМП у комплексі лікувально-реабілітаційних заходів, спостерігали зменшення КА кровообігу по ПМА на 9,5 %, а у групі порівняння цей показник становив 0,8 %.

Для об'єктивного оцінювання мозкової гемодинаміки в дітей, які хворі на ДЦП, до та після комплексного лікування із ТМП використовували також такий показ-

ник ТДГ, як середня швидкість кровообігу (СШК) у БА, СМА, ПМА.

Оскільки стан мозкової гемодинаміки залежить від віку дитини, то для оцінювання змін показника СШК у БА, СМА, ПМА враховували нормативні дані для різних вікових груп. Показники СШК по БА, СМА і ПМА залежно від патерну ТДГ наведені в таблиці 3.

У дітей основної групи, які проходили комплексне лікування із застосуванням ТМП, висока швидкість кровообігу по БА статистично вірогідно зменшилась на 21,7 %. У цій групі дітей також відзначено статистично вірогідне зменшення високих швидкостей кровообігу по СМА та ПМА (на 18,3 % та 7,8 % відповідно). Позитивну динаміку цього параметра відзначали і в пацієнтів групи порівняння, але вона не була статистично вірогідною.

У пацієнтів після курсу із ТМП спостерігали статистично вірогідне зростання низьких швидкостей кровообігу по БА, СМА та ПМА (29,7 %, 21,2 %, 9,7 % відповідно). У дітей групи порівняння також відзначали позитивну динаміку цих патернів ТДГ, але статистично вірогідно зросла швидкість кровообігу тільки по СМА (9,9 %).

Отже, результати транскраніальної доплерографії судин голови дітей хворих на ДЦП, яким здійснили комплексне лікування із застосуванням ТМП, показали, що позитивна динаміка патернів ТДГ, що характеризують СШК, була вірогідно вищою, ніж у групі порівняння.

Дані ТДГ-обстеження свідчать про більшу терапевтичну ефективність комплексного методу з використанням ТМП у лікуванні дітей із ДЦП порівняно з традиційними лікувально-реабілітаційними заходами.

Висновки

1. Включення транскраніальної мікрополяризації до лікувально-реабілітаційного комплексу хворих на ДЦП забезпечує позитивну динаміку показників транскраніальної доплерографії судин голови у 87 % пацієнтів основної групи на відміну від 52 % у групі порівняння.

2. ТМП зменшувала коефіцієнт асиметрії кровообігу по СМА на 12,3 %, тоді як у групі порівняння – на 2,5 %; по ПМА – на 9,5 %, а у групі порівняння цей показник становив 0,8 %.

3. ТМП вірогідно зменшувала високі СШК по БА, СМА та ПМА (на 21,7 %, 18,3 %, 7,8 % відповідно); у групі порівняння вірогідної динаміки не відзначено. ТМП вірогідно збільшувала низькі СШК по БА, СМА та ПМА (на 29,7 %, 21,2 %, 9,7 % відповідно); статистично вірогідне зростання СШК на 9,9 % – лише по СМА в пацієнтів групи порівняння.

Перспективи подальших досліджень полягають у дослідженні впливу комплексного лікування з застосуванням транскраніальної мікрополяризації на електроенцефалографічні показники в пацієнтів, які хворі на ДЦП.

Список літератури

- [1] Effect of transcranial direct current stimulation over the primary motor cortex on cerebral blood flow: a time course study using near-infrared spectroscopy / H. Takai, A. Tsubaki, K. Sugawara et al. // Adv. Exp. Med. Biol. – 2016. – Vol. 876. – P. 335341.
- [2] Hawkins B.T. The blood-brain barrier/neurovascular unit in health and disease / B.T. Hawkins, T.P. Davis // Pharmacol. Rev. – 2005. – Vol. 57. – P. 173–185.

- [3] Mishra A.J. Binaural blood flow control by astrocytes: listening to synapses and the vasculature / A.J. Mishra // *Physiol.* – 2016. – Sep 13 [Epub ahead of print].
- [4] Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008 / M.A. Nitsche, L.G. Cohen, E.M. Wassermann et al. // *Brain Stimul.* – 2008. – Vol. 1. – №3. – P. 206–223.
- [5] Glial and neuronal control of brain blood flow / D. Attwell, A.M. Buchan, S. Charpak et al. // *Nature.* – 2010. – Vol. 468. – P. 232–43.
- [6] Hemodynamic responses in rat brain during transcranial direct current stimulation: a functional near-infrared spectroscopy study / C.H. Han, H. Song, Y.G. Kang et al. // *Biomed. Opt. Express.* – 2014. – Vol. 13. – P. 1812–1821.
- [7] Zheng X. Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on human regional cerebral blood flow / X. Zheng, D.C. Alsop, G. Schlaug // *Neuroimage.* – 2011. – Vol. 58. – P. 26–33.
- [8] Synergistic effect of combined transcranial direct current stimulation/constraint-induced movement therapy in children and young adults with hemiparesis: study protocol / B. Gillick, J. Menk, B. Mueller et al. // *BMC Pediatr.* – 2015. – Vol. 15. – P. 178.
- [9] Ten minutes of 1 mA transcranial direct current stimulation was well tolerated by children and adolescents: Self-reports and resting state EEG analysis / V. Moliadze, S. Andreas, E. Lyzhko et al. // *Brain Res. Bull.* – 2015. – Vol. 119(Pt A). – P. 25–33.
- [10] Семенова К.А. Методические рекомендации по применению рабочей классификации детского церебрального паралича / К.А. Семенова. – М., 1973. – 20 с.

References

- [1] Takai, H., Tsubaki, A., Sugawara, K., Miyaguchi, S., Oyanagi, K., Matsumoto, T., et al. (2016). Effect of transcranial direct current stimulation over the primary motor cortex on cerebral blood flow: a time course study using near-infrared spectroscopy. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 876, 335341. doi: 10.1007/978-1-4939-3023-4_42.
- [2] Hawkins, B. T., & Davis, T. P. (2005). The blood-brain barrier/neurovascular unit in health and disease. *Pharmacological Reviews*, 57(2), 173–185. doi: 10.1124/pr.57.2.4.
- [3] Mishra, A. J. (2016). Binaural blood flow control by astrocytes: listening to synapses and the vasculature. *Physiology*, (Sep 13). doi: 10.1113/JP270979.
- [4] Nitsche, M. A., Cohen, L. G., Wassermann, E. M., Priori, A., Lang, N., Antal, A., et al. (2008). Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain Stimulation*, 1(3), 206–223. doi: 10.1016/j.brs.2008.06.004.
- [5] Attwell, D., Buchan, A. M., Charpak, S., Lauritzen, M., Macvicar, B. A., & Newman, E. A. (2010). Glial and neuronal control of brain blood flow. *Nature*, 468, 232–43. doi:10.1038/nature09613.
- [6] Han, C. H., Song, H., Kang, Y. G., Kim, B. M., & Im, C. H. (2014). Hemodynamic responses in rat brain during transcranial direct current stimulation: a functional near-infrared spectroscopy study. *Biomedical Optics Express*, 13, 1812–1821. doi: 10.1364/BOE.5.001812.
- [7] Zheng, X., Alsop, D. C., & Schlaug, G. (2011). Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on human regional cerebral blood flow. *Neuroimage*, 58, 26–33. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.06.018.
- [8] Gillick, B., Menk, J., Mueller, B., Meekins, G., Krach, L. E., Feyma, T., & Rudser, K. (2015). Synergistic effect of combined transcranial direct current stimulation/constraint-induced movement therapy in children and young adults with hemiparesis: study protocol. *BMC Pediatrics*, 15, 178. doi: 10.1186/s12887-015-0498-1.
- [9] Moliadze, V., Andreas, S., Lyzhko, E., Schmanke, T., Gurashvili, T., Freitag, C. M., & Siniatchkin, M. (2015). Ten minutes of 1 mA transcranial direct current stimulation was well tolerated by children and adolescents: Self-reports and resting state EEG analysis. *Brain Research Bulletin*, 119(Pt A), 25–33. doi: 10.1016/j.brainresbull.2015.09.011.
- [10] Semenova, K. A. (1973) *Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu rabochej klassifikacii detskogo cerebral'nogo paralicha [Guidelines for application of working classification of cerebral palsy]*. Moscow. [in Russian].

Відомості про авторів:

Яценко К. В., канд. мед. наук, старший науковий співробітник, Інститут фізіології імені О. О. Богомольця Національної академії наук України, м. Київ, директор «Неврологічної клініки доктора Яценко».

Тараненко Т. В., канд. мед. наук, лікар першої категорії, Національна медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика, м. Київ, Україна, лікар функціональної діагностики «Неврологічної клініки доктора Яценко».

Юрченко Ф. В., канд. мед. наук, лікар-невролог Клінічної лікарні «Феофанія» Державного управління справами, м. Київ, Україна.

Скибо Г. Г., д-р мед. наук, професор, зав. відділу цитології, Інститут фізіології імені О. О. Богомольця Національної академії наук України, м. Київ.

Сведения об авторах:

Яценко Е. В., канд. мед. наук, старший научный сотрудник, Институт физиологии имени А. А. Богомольца Национальной академии наук Украины, г. Киев, директор «Неврологической клиники доктора Яценко».

Тараненко Т. В., канд. мед. наук, врач первой категории, Национальная медицинская академия последипломного образования имени П. Л. Шупика, г. Киев, Украина, врач функциональной диагностики «Неврологической клиники доктора Яценко».

Юрченко Ф. В., канд. мед. наук, врач-невролог Клинической больницы «Феофанія» Государственного управления делами, г. Киев, Украина.

Скибо Г. Г., д-р мед. наук, профессор, зав. отделом цитологии, Институт физиологии имени А. А. Богомольца Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина.

Information about authors:

Yatsenko K. V., MD, PhD, Senior Researcher of Bogomoletz Institute of Physiology, NAS of Ukraine, Kyiv, Director of “Neurological clinic of doctor Yatsenko”.

Taranenko T. V., MD, PhD, doctor of the first category, The P. L. Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv, Ukraine, doctor of functional diagnosis in “Neurological clinic of doctor Yatsenko”.

Yurchenko F. V., MD, PhD, neurologist in Clinical hospital “Feofaniya” of State Affairs Department, Kyiv, Ukraine.

Skibo G. G., MD, PhD, DSci, Professor, Head of the Department of Cytology, Bogomoletz Institute of Physiology, NAS of Ukraine, Kyiv.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of Interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшло до редакції / Received: 01.12.2016

Після доопрацювання / Revised: 20.12.2016

Прийнято до друку / Accepted: 11.01.2017