

ДО ОЦІНКИ НАПРУЖЕННЯ КИСНЮ В ШКІРІ І НИРКАХ

В. Я. Березовський, І. Є. Індиченко

*Відділ порівняльної патології Інституту фізіології
ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ*

В організмі є кілька органів, інтенсивність кровопостачання яких залежить не тільки від рівня обмінних процесів і споживання кисню. До них належать нирки та шкіра. Кровообіг цих органів регулюється, крім потреби кисню, ще потребами екскреції, а для шкіри — екскреції та терморегуляції. Тому теоретично можливі випадки, коли оптимальне задоволення однієї з цих функцій відбувається за рахунок певного розбалансу іншої. Деякі літературні дані дають підставу вважати, що здійснення функцій виділення та терморегуляції приводить до порівняно високого кисневого постачання нирки та шкіри [7, 11]. Проте прямі вимірювання напруження кисню (pO_2) у тканині та відтікаючій крові до останніх років були методично нездійсненними. Такі дослідження стали можливими лише після застосування принципів полярографічного аналізу [12, 15] та вдосконалення методики калібровки відкритих індикаторних електродів [2, 3, 12, 13]. Метою нашої роботи було пряме вимірювання напруження кисню в шкірі та нирках із застосуванням хроноамперометричного варіанту полярографічного аналізу в умовах нормо-, гіпо- та гіпероксії.

Методика досліджень

Дослідження проводили в лабораторних і клінічних умовах. Шкіра експериментальних тварин вкрита шерстю, що блокує терморегуляційні впливи на її кровопостачання. Тому визначення pO_2 шкіри проводили у 22 практично здорових чоловіків віком 25—35 років, у сидячому положенні на долонній поверхні нижньої третини передпліччя. Вимірювання здійснювали при температурі повітря в кімнаті близько 20—21° С. Гіпоксію кінцівки викликали накладанням джгута на плече. Гіпероксію створювали вдиханням 95%-ного медичного кисню з подушки на протязі 5—10 хв.

Усі проведені раніше вимірювання pO_2 шкіри [1, 10, 19—22, 24, 25, 27] здійснені з допомогою голкоподібних індикаторних електродів, що вколюються в тканину на різну глибину. Такий спосіб введення електрода порушує анатомічну цілість капілярів та тканин і створює навколо робочої поверхні електрода шар детриту з лімфи, крові і зруйнованих клітин, викликає певні больові відчуття. Усе це спотворює реальні умови кисневого постачання тканини. З метою усунення цих факторів ми застосовували для шкіри спеціально розроблений плоский комбінований електрод. Електрод накладали на поверхню сосочкового шару, без пошкодження. Роговий шар знімали миттям з милом і пемзою. Такий електрод може використовуватись для визначення pO_2 на поверхні будь-якого органа або тканини.

Плоский комбінований електрод (рис. 1, А) виготовляли з срібного диска (а) діаметром 28 мм з круглим отвором у центрі розміром 8 мм. Нижню поверхню диска механічно полірували і електролітично вкривали шаром хлорного срібла. Процедuru краще проводити в 0,1 н. розчині соляної кислоти до стабілізації сили струму. Таким чином створювали референтну частину електрода з площиною близько 520 мм². До верхньої поверхні диска припаювали гнучкий ізолюваний провідник (б) типу МГТФ для сполучення з позитивною клемою схеми. У центрі (в) диска за допомогою пластмаси АКР-7 (г) закріплювали платинову дротину (д) діаметром 0,1 або 0,2 мм у скляній

ізоляції (е) з відкритим на протязі 0,2—0,6 мм кінчиком. Вона виконувала функцію індикаторної частини комбінованого електрода. Верхня частина платинової дротини сполучалась таким же гнучким провідником з негативною клеюмою схеми. Використовувалась установка, описана нами раніше [2—6], та серійний полярограф ЛП-60.

Напруження кисню в нирках вимірювали на білих щурах лінії Вістар вагою 160—200 г після лапаротомії під тіопенталовим або уретановим наркозом. У нирку вводили осклований платиновий електрод на глибину до 2 мм.

Для виготовлення електрода робочий кінець платинової дротини діаметром 0,1—0,2 мм прожарювали в полум'ї спиртівки. Потім вводили дротину у скляний капіляр з дещо більшим внутрішнім діаметром. Кінчик електрода знову занурювали в полум'я спиртівки до розтоплення скла і герметизації отвору. Відкритий кінчик платини виступав над рівнем скла на 0,2—0,6 мм. Для надійної герметизації треба використовувати сорт скла з низькою температурою плавлення. Така ізоляція бокової поверхні забезпечує тривалу роботу електрода. Лакові покриття на платині нестійкі і недовговічні.

Схема складалась з джерела поляризуючого струму з допоміжними електричними ланцюгами і виходом на фотокомпенсаційний підсилювач постійного струму типу Ф-116 або Ф-18 [4, 6]. На початку і після кожного вимірювання електроди калібрувалися: а) у фізіологічному розчині, насиченому повітрям, і б) в такому ж розчині, де кисень повітря зв'язували додаванням 0,1—0,5 г безводного сульфату натрію на 100 мл розчину. На підставі одержаних показників сили дифузійного струму (I_d) будували графік залежності

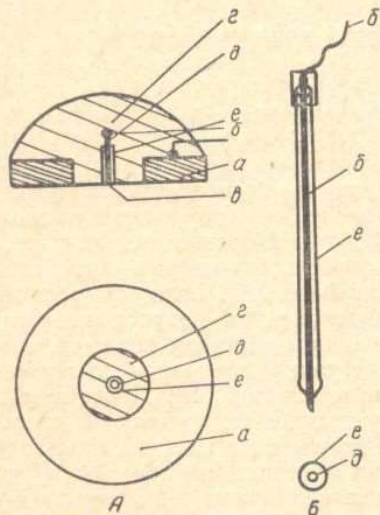


Рис. 1. Електроди для вимірювання pO_2 .

А — комбінований шкірний електрод для досліджень на рівні сосочкового шару шкіри або на поверхні інших тканин; Б — голкоподібний платиновий індикаторний електрод в скляній ізоляції (може використовуватись безпосередньо або як мандрен до ін'єкційної голки № 1020, 1080). Інші позначення в тексті.

I_d / pO_2 , що давало змогу виражати кінцевий результат в мм рт. ст. O_2 .

Напруження кисню в артеріальній крові вимірювали за допомогою електрода типу Кларка діаметром 10 мм. Внутрішню порожнину електрода ізолювали від середовища тефлоновою плівкою товщиною 10 мк і заповнювали 0,1 н. розчином хлористого калію. Платиновий індикаторний та хлорсрібний референтний електроди з'єднували з полярографом ЛП-60. Вимірювання провадили в хроноамперометричному режимі. Закритий електрод калібрували аналогічно відкритому [17, 28, 26], але лише на початку і наприкінці робочого дня. Електрод виготовляли у вигляді поршня до медичного шприца. Одержаний цифровий матеріал обробляли варіаційно-статистичними методами з використанням критерію Стюдента (t) та фактора ймовірності p .

Результати досліджень та їх обговорення

Напруження кисню в сосочковому шарі шкіри долонної поверхні нижньої третини передпліччя при диханні повітрям у різних досліджуваних перебувало в широких індивідуальних межах. Середня величина становила 84 ± 8 мм рт. ст. (див. таблицю). Вдихання кисню на протязі 5 хв приводило до значного збільшення дифузійного струму. Максимальний рівень напруження кисню наприкінці інгаляції досягав у деяких індивідів 300—400 мм рт. ст. Середнє значення максимального pO_2 перебувало близько 220 мм рт. ст. У процентному відношенні¹

¹ Процент обчислювали до вихідного рівня не дифузійного струму, а величини напруження кисню в мм рт. ст., наведеної вище.

цей рівень становить повного інгаляції до 10 хв лляції приводять до аналог з кожним разом це підви у порівнянні з першим ефе

Порушення кровонос на плече викликало зниж

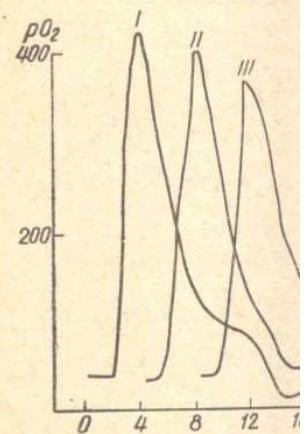


Рис. 2. Приріст pO_2 в шкірі с ного В-к при повторних інгаляціях (I, II, III).

По вертикалі — pO_2 в мм рт. ст. По лі — час у хвиликах. II і III крива осі ординат, час відносний

шкірі. За характером пещі. До першого найбільш зниження pO_2 на протяз джгута (рис. 3, I). При п близько десяти хвилини, характеризується швидк джгута, на протязі перш ний рівень мінімальної джгута. При реакції тре ження мінімальна велич на джгут напруження к тись і до 10-ї хвилини б спостерігався в невелик своєю непорозумілістю. ляції м'яза і порушення троа, або каталітичного

Попередній відомості були одержані при анал нозної крові. Як стало підстав для таких висно ній крові може бути нас

цей рівень становить понад 260% і не є максимальним. Збільшення строку інгаляції до 10 хв підвищує це співвідношення. Повторні інгаляції приводять до аналогічного підвищення напруження кисню. Проте з кожним разом це підвищення звичайно стає менш виразним (рис. 2) у порівнянні з першим ефектом.

Порушення кровопостачання кінцівки шляхом накладання джгута на плече викликало зниження напруження кисню у сосочковому шарі

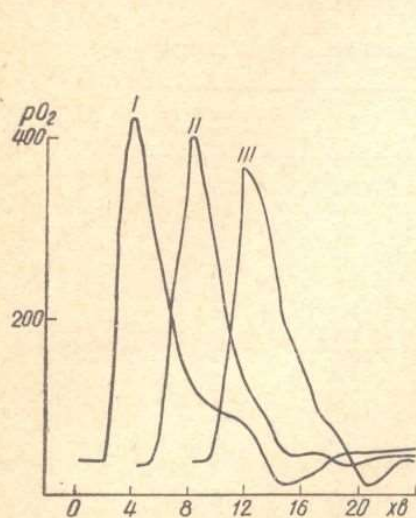


Рис. 2. Приріст pO_2 в шкірі обстежуваного В-к при повторних інгаляціях кисню (I, II, III).

По вертикалі — pO_2 в мм рт. ст. По горизонталі — час у хвилинах. II і III криві зсунуті до осі ординат, час відносний.

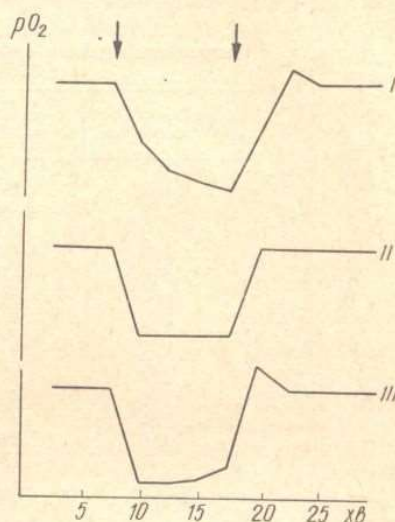


Рис. 3. Типи реакції pO_2 шкіри передпліччя на затискання плеча джгутом.

По вертикалі — напруження кисню. По горизонталі — час у хвилинах. Стрілками позначено моменти накладання та знімання джгута.

шкіри. За характером перехідного процесу ми виділили три типи реакції. До першого найбільш поширеного, віднесли випадки поступового зниження pO_2 на протязі перших 3—5 і більше хв після накладання джгута (рис. 3, I). При цьому мінімальні показники pO_2 спостерігались близько десятої хвилини, перед зніманням джгута. Другий тип реакції характеризується швидким зниженням pO_2 відразу після накладання джгута, на протязі перших 2—3 хв. Після цього підтримується постійний рівень мінімальної величини (рис. 3, II) аж до моменту зняття джгута. При реакції третього типу (рис. 3, III) після початкового зниження мінімальна величина pO_2 виявлялась нестабільною. Незважаючи на джгут напруження кисню на протязі 5—7 хв починало збільшуватись і до 10-ї хвилини було вище мінімального рівня. Цей тип реакції спостерігався в невеликій кількості випадків, проте привертає увагу своєю непорозумілістю. Можливо він є наслідком гіпоксичної фібриляції м'яза і порушення подвійного дипольного шару на поверхні електрода, або каталітичного виділення водню.

Попередні відомості про високе кисневе постачання нирки та шкіри були одержані при аналізі насичення оксигемоглобіну відтікаючої венозної крові. Як стало відомо в останні роки, цей показник не дає підстав для таких висновків. Високий процент оксигемоглобіну венозної крові може бути наслідком і інших причин — наприклад наявності

великої кількості артеріо-венозних шунтів [28]. Тоді процент НbО вміст кисню і pO_2 венозної крові можуть бути високими, незважаючи на низький рівень pO_2 тканин. Одержані нами дані свідчать, що середня величина напруження кисню в сосочковому шарі шкіри людини при диханні атмосферним повітрям досягає 84 мм рт. ст. Відомо, що для скелетних м'язів pO_2 становить у середньому близько 20—30 мм [4, 6, 9], для печінки 18—20 мм [5], для сірої речовини головного мозку від 20 до 40 мм рт. ст. [5, 13].

Напруження кисню у шкірі людей при диханні повітрям та 95%-ним киснем

Вихідне pO_2 при диханні повітрям	Максимальне pO_2 при диханні киснем	ΔpO_2	pO_2 через 10 хв після дихання киснем
32	148	116	38
33	37	4	33
89	271	182	89
100	116	16	97
116	116	0	95
35	78	43	43
70	182	112	46
95	391	296	64
83	428	295	83
102	136	34	78
112	431	319	85
95	370	275	95
116	211	95	110
97	193	96	80
Σ	1175	1782	1036
n	14	14	14
M	84	138	74
$\pm m$	8	33	15
в % до вихідного рівня pO_2			
	100	164	88

Отже, pO_2 шкіри виявляється в кілька раз більшим, ніж у інших органах. Цей факт можна вважати доказом того, що виконання термо-регуляторної функції приводить до надмірного постачання кисню в шкіру. Проведені нами раніше [4, 5, 6] спостереження показали, що аплікація холоду різко знижує, а інфрачервоне прогрівання підвищує pO_2 шкіри. Це може бути ще одним експериментальним підтвердженням високого ступеня залежності pO_2 від рівня кровопостачання органа.

Наявні в літературі відомості про напруження кисню в шкірі узгоджуються з одержаними нами високими показниками pO_2 [19—22]. Монтгомері з співробітниками [21] висловлюють навіть думку, що напруження кисню в шкірі можна використовувати як показник напруження кисню артеріальної крові.

Відомо також, що вміст кисню в краплині крові, взятої з шкіри пальця, мало відрізняється від вмісту його в артеріальній крові, взятої шляхом пункції артерії. Це свідчить на користь висловленого Монтгомері припущення.

Визначення напруження кисню в артеріальній крові людини полярографічним методом за різними авторами показує, що pO_2 становить від 85 до 100 мм рт. ст. і залежить від віку [14, 23].

Одержані нами на за вказують, що середнє нап обслідуваних становить б. шкірі досить близьке до pO_2 артеріальної крові.

У чотирьох випадках шкіри у досліджуваних б значень pO_2 артеріальної

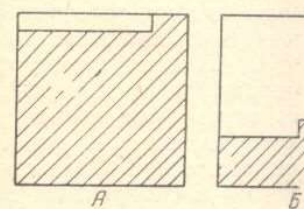


Рис. 4. Порівняння відносного при нормо- (А) та гіпероксії (Б) pO_2 шкіри. Площа квадрата — величина pO_2 крові (100%). Заштрихована частина — величина pO_2 шкіри.

ці величини дійсно переви- дістати пояснення в подвії і атмосферного повітря, де

Проте не виключена м артеріальної крові переваж мірювань у здорових суб' більшим 100 мм рт. ст. [14] чотирьох понадвисоких зн дження.

При диханні киснем крові, так і в шкірі. За може досягати при цьому У порівнянні з цими показ оксії (222 мм) становить л (рис. 4). Таке зниження і може виникати внаслідок кровоносних судин, описа поступове зменшення при кисню (рис. 2) виникає в оксидативного захисту орг

Різний темп зниження джугута можна розглядати ню досліджуваними ділян тати наводять Урбач і Пь споживання кисню в яких зниження pO_2 до мінімал У шкірі період зниження б

Одержані нами на закритому електроді типу Кларка власні дані вказують, що середнє напруження кисню в артеріальній крові дев'яти обслідуваних становить близько 91 мм рт. ст. Напруження кисню в шкірі досить близьке до цих показників і становить майже 92% від pO_2 артеріальної крові.

У чотирьох випадках з чотирнадцяти індивідуальні показники pO_2 шкіри у досліджуваних були понад 100 мм рт. ст. Це вище середніх значень pO_2 артеріальної крові і викликає деяке здивування. Якщо

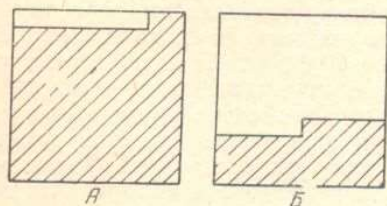


Рис. 4. Порівняння відносного pO_2 шкіри при нормо- (А) та гіпероксії (Б). Площа квадрата — величина pO_2 артеріальної крові (100%). Заштрихована частина — відносна величина pO_2 шкіри.

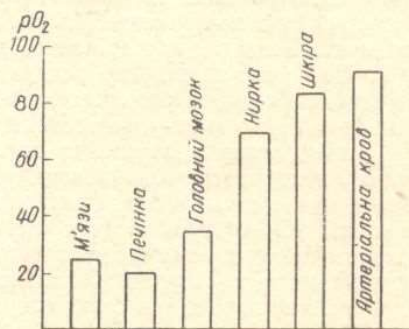


Рис. 5. Співвідношення рівня pO_2 в різних органах і тканинах.

По вертикалі — напруження кисню в мм рт. ст.

ці величини дійсно перевищують pO_2 артеріальної крові, то це може дістати пояснення в подвійному кисневому постачанні шкіри — з крові і атмосферного повітря, де pO_2 досягає 150 мм рт. ст.

Проте не виключена можливість і того, що у деяких випадках pO_2 артеріальної крові перевищує 100 мм рт. ст. Так серед 18 прямих вимірювань у здорових суб'єктів в п'яти випадках pO_2 крові виявилось більшим 100 мм рт. ст. [14]. Отже, для впевненої відповіді на причини чотирьох понадвисоких значень pO_2 шкіри потрібні далі дослідження.

При диханні киснем напруження його значно підвищується як у крові, так і в шкірі. За даними літератури, pO_2 артеріальної крові може досягати при цьому в середньому 631 мм [23] і 637 мм рт. ст. [14]. У порівнянні з цими показниками напруження кисню в шкірі при гіпероксії (222 мм) становить лише близько 35% від pO_2 артеріальної крові (рис. 4). Таке зниження питомої ваги pO_2 шкіри при диханні киснем може виникати внаслідок токсичної дії кисню і реактивного спазму кровоносних судин, описаного багатьма дослідниками. Можливо, що поступове зменшення приросту pO_2 в шкірі при повторних інгаляціях кисню (рис. 2) виникає внаслідок певного тренування механізмів анти-оксидативного захисту організму.

Різний темп зниження напруження кисню в шкірі при накладанні джгута можна розглядати як показник неоднакового споживання кисню досліджуваними ділянками шкіри обслідуваних. Аналогічні результати наводять Урбач і Пьерц [27]. Введення електрода в сальні залози, споживання кисню в яких значно вище, ніж у шкірі, виявляло швидке зниження pO_2 до мінімальних значень після припинення кровообігу. У шкірі період зниження був більш тривалим.

Напруження кисню в нирках щурів також виявило досить високий рівень. Так в умовах Києва, при барометричному тиску 740—750 мм рт. ст. напруження кисню в 20 нирках 10 щурів становило близько 56 мм рт. ст. Аналогічні вимірювання, проведені сумісно з А. Айдаралієвим та співробітниками в місті Фрунзе, при барометричному тиску 680—690 мм на 16 щурах виявили середню величину pO_2 — 68 мм рт. ст.

Якщо порівняти ці показники, з наведеними вище значеннями pO_2 у сірій речовині головного мозку, скелетних м'язах та печінці, виявляється, що напруження кисню в нирках значно вище, ніж в інших органах. Щодо pO_2 артеріальної крові, pO_2 нирки становить близько 78%. Цей факт відповідає попередньому припущенню, що рівень кровопостачання нирки регулюється не тільки потребою кисню, а й основною функцією нирки — виведенням шлаків з організму.

Вимірювання напруження на відкритому платиновому, золотому й інших електродах у біологічних умовах ускладнюється наявністю багатьох недостатньо вивчених електродних процесів. Наведені абсолютні значення pO_2 можуть містити систематичну помилку, що не усувається статистичною обробкою матеріалу. Тому спеціально були проведені експерименти на щурах, де вимірювали напруження кисню в мозку, нирці, м'язі, печінці та селезінці на одному мікроелектроді. Одержані результати показали, що коли напруження кисню в м'язі прийняти за 100%, то pO_2 нирки становитиме від 200 до 280%. Селезінка, що певною мірою наближається до шкіри й нирок за особливостями кисневого постачання, також має вище pO_2 , ніж м'язи й печінка. У порівнянні з м'язами pO_2 селезінки щурів досягає 180—200%. Ці вимірювання дозволяють твердити, що співвідношення середніх для кожної тканини показників pO_2 (рис. 5) відображають реально існуючі особливості кисневого постачання і повинні враховуватись при вивченні специфіки їх діяльності.

Висновки

1. Результати хроноамперометричного вимірювання напруження кисню вказують на неоднакове кисневе постачання різних тканин.
2. Виявлені високі показники pO_2 шкіри та нирок, що може бути зумовлено специфікою регуляції кровопостачання цих органів.

Література

1. Авербух Л. Г.—Врач. дело, 1965, 4, 85.
2. Березовський В. Я.—Фізіол. журн. АН УРСР, 1966, 12, 3, 415.
3. Березовський В. Я., Мирутенко В. І.—Фізіол. журн. АН УРСР, 1962, 8, 6, 827.
4. Березовський В. А., Полишко В. К.—В сб.: Гипоксия и дистонич. сост., их клиника и терапия, К., 1967, 13—14.
5. Березовський В. А., Богомолец Е. О., Назаренко А. И., Полишко В. К.—В сб.: Физич. и физико-химич. методы, Горький, 1967, 67.
6. Бернштейн В. А., Березовский В. А.—БЭБИМ, 1968, 2, 36.
7. Войткевич В. И.—ДАН СССР, 1969, 185, 2, 472.
8. Комро Дж. Г., Форстер Р. Э., Дюбуа А. Б., Бриско У. А., Карлсен Э.—Легкие. Клин. физиол. и функц. пробы, М., 1961.
9. Пенек Н. В., Березовский В. А.—В сб.: Гипоксия и дистонич. сост., их клиника и терапия, К., 1967, 136.
10. Сиротинин Н. Н.—Патол. физиол. и exper. терап., 1968, 3, 8.
11. Чарный А. М.—Патофизиол. гипоксия, М., 1961.
12. Cater D. et al.—J. Appl. Physiol., 1963, 18, 5, 888.
13. Cater D.—In: Oxygen in the Animal Organism, Perg. Press., L., 1964, 239.

14. Charlton G., Read D.,
15. Davies P., Brink F.—
16. Hardwick D., Stauss
17. Landes R., Lonhardt
18. Leonhardt K., Landes
19. Monthomery H., Horv
20. Monthomery H., Horv
21. Monthomery H., Zins
22. Monthomery H.—Fed. I
23. Murray J.—Am. Rev. Res
24. Penneys R.—J. Clin. Inv
25. Penneys R., Forno C.
26. Ulfendahl H.—Acta Soc
27. Urbach F., Peirce G.—
28. Sherman J.—Medicine, I

ON ESTIMATION OF

V. A. Be

Laboratory of Comparative P
Academy

The chronoamperometric r
confirm the indirect data of the
indices for the muscles, brain a
respiration is about 92%, and
might be a result of blood flow
not only with the oxygen deliv

With inhalation of 95% o
rises, however, is behind the a
the spastic reaction of blood v
antioxidative protection of an o

14. Charlton G., Read D., Read J.—*J. Appl. Physiol.*, 1963, 18, 6, 1247.
15. Davies P., Brink F.—*Rev. Sci. Instr.*, 1942, 13, 524.
16. Hardwick D., Stauss J., Misrany G.—*Am. J. Physiol.*, 1964, 205, 2, 322.
17. Landes R., Lonhardt K., Durman N.—*J. Urology*, 1964, 92, 3, 171.
18. Leonhardt K., Landes R.—*New Engl. J. Med.*, 1963, 269, 115.
19. Monthomery H., Horwitz O.—*J. Clin. Invest.*, 1948, 27, 550.
20. Monthomery H., Horwitz O.—*J. Clin. Invest.*, 1950, 29, 1120.
21. Monthomery H., Zinsser H., Horwitz O.—*Circulation*, 1950, 2, 845.
22. Monthomery H.—*Fed. Proc.*, 1957, 16, 3, 697.
23. Murray J.—*Am. Rev. Resp. Dis.*, 1965, 92, 3, 435.
24. Penneys R.—*J. Clin. Invest.*, 1952, 31, 2, 204.
25. Penneys R., Forno C.—*Am. J. Physiol.*, 1956, 187, 621.
26. Ulfendahl H.—*Acta Soc. Med. Upsal.*, 1962, 67, 3-4, 95.
27. Urbach F., Peirce G.—*Science*, 1950, 112, 2922.
28. Sherman J.—*Medicine*, 1963, 42, 4, 247.

Надійшла до редакції
14.X 1969 р.

ON ESTIMATION OF OXYGEN TENSION IN SKIN AND KIDNEYS

V. A. Berezovsky, I. E. Indichenko

*Laboratory of Comparative Pathology, the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology,
Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev*

Summary

The chronoamperometric measurement of oxygen tension in the skin and kidney confirm the indirect data of the previous investigators and detect higher values than pO_2 indices for the muscles, brain and liver obtained in the laboratory. pO_2 of skin with air respiration is about 92%, and that of the kidney 78% of pO_2 for arterial blood. This might be a result of blood flow regulation specificity in the skin and kidney providing not only with the oxygen delivery but the functions of thermoregulation and excretion.

With inhalation of 95% oxygen and creation of hyperoxic state pO_2 of all organs rises, however, is behind the arterial blood pO_2 increment. This may be conditioned by the spastic reaction of blood vessels which belongs to physiological mechanisms of the antioxidative protection of an organism.