

До питання про стан електропровідності шкіри при короткочасній гіпоксії

П. П. Слинько

*Відділ фізіології гіпо- і гіпероксичних станів Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця
Академії наук УРСР, Київ*

Оцінка функціонального стану живого організму з допомогою шкірно-гальванічного рефлексу, реєстрації електропровідності та проникності шкіри, визначення інтенсивності і динаміки потовиділення набуває дедалі більшого застосування. Такі дослідження проведені в умовах високогір'я [3, 6].

Почасти зміни, відзначені з допомогою цих електричних методів, трактуються як результат стану рогового шару шкіри, клітинних оболонок, неактивності судин, стану симпатичного відділу нервової системи, субординаційних і рефлекторних впливів тощо [1, 2, 8].

Проте в літературі нема відомостей про зміну цих характеристик в умовах короткочасної гіпоксії в барокамері та при місцевому нетривалому порушенні кровообігу.

При підготовці до реєстрації цих даних в умовах високогір'я ми виявили відсутність в літературі єдиного підходу до оцінки функціонального стану живого організму з допомогою урахування активної електропровідності тканин. Більшість досліджень з цього питання проведено з допомогою постійного струму [4, 7, 9, 10], а деякі на змінному [5].

В цих методиках автори застосовували різні за конструкцією і принципом прикладання до тканини електроди, не вводили поправок на коливання температури шкіри, не брали до уваги насиченість епідермісу вологою, не завжди мали електроди постійної площі тощо. Природно, що таке положення не могло служити підставою для зіставлення даних, одержаних різними авторами.

В наших дослідах постійний струм не застосовували, щоб уникнути численних помилок, які трапляються при поляризації тканин [11], що особливо позначається при тривалій графічній реєстрації.

Застосовували змінний струм, для усунення в наших дослідженнях випадкових і односпрямовано-змінних помилок, ми провели досліди в напрямку уточнення і з'ясування деяких згаданих в літературі (але мало висвітлених) фізіко-хімічних факторів.

До частини цих факторів належить зниження атмосферного тиску, порушення регіонарного кровообігу аж до його припинення і відділення органа від тіла, розширення і звуження капілярів, підвищення і зниження атмосферного тиску і температури шкіри в ділянці безпосереднього розташування електродів.

Метою нашого дослідження було вивчення цих та деяких інших факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, які впливають на величину активної провідності шкіри людини і тварин.

Досліди провадили у три етапи.

1) З допомогою відомих методів перевіряли деякі основні фізико-хімічні параметри вимірювання електропровідності живої тканини і виробили найбільш доцільну для цього методику.

2) Створили безпечну, портативну переносну апаратуру, що не залежить від сіткового живлення.

3) Вдосконалюючи електроди і датчики, досліджували електропровідність шкіри при різних функціональних станах організму людини і тварин.

Обслідувано 55 осіб, досліди проведені на 12 кроликах.

Контакт з шкірою здійснено з допомогою активних рідинних електродів, площею $0,5 \text{ см}^2$ (виготовлених із тонкостінної трубки з негігроскопічного діелектрика), які щільно прикладали до шкіри і були заповнені гіпотонічним розчином хлористого натрію (0,05—0,5%).

При прикладанні до шкіри вуха кролика в електрод задалегідь вводили ватний шарик, просочений згаданим розчином. При встановленні на шкірі людини ватний шарик не вводили. Від кільцевого срібного електрода через розчин на шкіру подавали прямокутну змінну напругу 2 в.

Графічну реєстрацію здійснювали на фізіографі, електрометричну — на шкалі приладу в одиницях провідності (сименсах).

Для підйому на висоту кролика вміщували в загальноприйнятому станку в барокамеру невеликого об'єму, яку постійно інтенсивно продували свіжим повітрям. На внутрішній бік вуха кролика в спеціальному тримачі (не стискаючи капілярів) встановлювали два активних електроди, а під шкіру, на відстані 1 см від місця проколу епідермісу вводили загострений кінець спаю термодари.

Електроди і термодару з'єднували з гальванометрами, через які пропускали постійний струм. Швидкість стрічкопротяжного механізму становила 0,25 мм/сек.

За одну хвилину кролика «піднімали» на висоту 4 км і утримували там протягом 6—10 хв, а потім «спускали» за той самий час.

Перед кожним «підйомом» кролика кілька раз привчали до незвичної обстановки при повному відтворенні усіх умов досліду за винятком відкачування повітря з барокамери. Така підготовка була необхідною для усунення впливу нової обстановки, зменшення неспокою кролика та його рухів головою і вухами, де встановлювали рідинні електроди.

В 15 дослідах зареєстровано 20 записів електропровідності шкіри вуха кролика при «підйомі» на висоту 4 км. Усі записи не виявили ніяких змін активної провідності шкіри протягом усього часу перебування на «висоті».

Дослідження впливу розширення і звуження судин вуха кролика на величину електропровідності шкіри вуха провадилося з допомогою тих самих електродів, але поза барокамерою.

Після підшкірного введення 0,5 мл 20%-ного розчину кофеїну і розширення судин включали запис і в ході його вводили 0,5 мл 0,1%-ного розчину адреналіну в те саме місце (голку не виймали).

Досліди провадились на цих же кроликах.

Ми одержали 20 записів. На 15 записах введення адреналіну та звуження судин не викликало будь-яких змін вихідної провідності, в двох випадках крива перемістилась на 3 мм вгору, в двох інших — на 2 мм вниз, в одному — на 2 мм вгору. Аналізуючи ці зміщення, можна припустити, що це випадкові помилки. Виходячи з даних цієї серії та з попередніх дослідів, ми приходимо до висновку, що протягом 5—6 хв

після звуження судин або розширення, активна провідність шкіри вуха кролика не змінює своєї вихідної величини.

Ці досліді дублювали електрометричною реєстрацією даних при стисканні судин вуха кролика з допомогою джгутика біля основи вуха. Досліді проведені на десяти кроликах. У середньому електропровідність після стискання підвищилася на 3%, що можна пояснити масажем вуха при накладанні джгутика і встановленні електродів, що сприяло розігріву тканини вуха, травмуванню тощо.

Для усунення цього фактора ми приступили до дослідів за цією ж схемою на людині.

Манжеткою від артеріального осцилографа стискували судини плеча тиском, близьким до максимального значення артеріального тиску. Електроди встановлювали на волярному боці того ж передпліччя. Пасивний електрод як і завжди розташовували у будь-якому зручному для обслідуваного місці.

Дослідження здійснювалось при горизонтальному положенні обслідуваного, у стані максимально можливого спокою та при розслабленні м'язів, для ліквідації нашарувань шкірно-гальванічного рефлексу.

У 14 дослідях було обслідувано п'ять осіб.

В усіх експериментах при графічній та електрометричній реєстрації даних накладання джгутика на 5—6 хв не викликало помітних змін електропровідності шкіри людини.

Для завершення вивчення короточасних впливів зниженого атмосферного тиску на активну провідність тканин була створена система для підвищення і зниження атмосферного тиску та незалежно від нього підвищення і зниження температури шкіри і електродів відповідно на однакову величину. Досліді провадились за таким принципом: при температурі 20° С в електроді підвищували тиск на 80 мм рт. ст., потім ривком знижували до нуля, а потім знижували на 400 мм рт. ст. і знову повертали до нуля. Те саме повторювали при температурі 40° С.

Обслідувано 16 дорослих осіб обох статей. Запис здійснювали на тих самих електродах. З аналізу 32 кривих одержані середні дані. При підвищенні тиску в електроді на 80 мм рт. ст. провідність підвищилася на 10,6 умовних одиниць (10,6 мм), а при зниженні тиску до нуля провідність не досягала вихідного рівня на 0,62 од. При такому ж підвищенні тиску при 40° С провідність підвищилася на 23,7 ум. од., а потім не досягала нуля на 1,56 од. При 20° С зниження тиску в електроді на 400 мм рт. ст. привело до підвищення провідності на 4,7 ум. од., а при поверненні до нуля не досягало вихідного рівня на 4,6 од., тобто практично не змінило своєї величини. При 40° С зниження тиску на ту саму величину привело до підвищення провідності лише на 0,39 ум. од., а при поверненні до нуля перевищило вихідний рівень на 2,85 од.

У цих дослідях навмисно не визначали збільшення провідності в процентах щодо наведених впливів з тієї причини, що така залежність була б нелінійного характеру. Це встановлено в попередніх дослідях на чотирьох обслідуваних, коли через рівні проміжки часу з електрода відкачували повітря на 400 мм рт. ст. шість раз підряд з відновленням (щоразу) тиску до нуля при постійній температурі. Одержано 12 записів. Якщо перший підйом (підвищення) провідності прийняти за одиницю в усіх записах, то в середньому одержимо такий ряд: 1,0; 0,8; 0,67; 0,46; 0,43; 0,39.

Незважаючи на таку залежність, яка якоюсь мірою позначалась і на основних дослідях, наочно видно, що підвищення тиску повітря в електроді на величину в п'ять раз меншу, ніж його зниження, приво-

Таблиця температурних поправок для кожного електрода в процентах на 1°С (за даними електрометричних вимірювань)

№ електродів	Порядковий номер обстежуваного															
	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8
1	2,05	2,05	2,23	3,40	3,55	3,75	2,35	1,87	2,47	2,50	5,50	5,30	3,50	2,00	1,00	1,75
2	2,37	2,46	2,32	2,80	3,00	3,20	3,50	1,87	1,67	1,70	2,50	2,25	1,90	1,90	1,40	2,10
3	3,10	2,55	2,46	3,30	3,15	2,55	1,45	2,27	3,33	1,70	4,00	2,25	3,20	2,25	1,05	1,65
4	2,68	2,60	2,41	2,60	2,70	2,85	2,35	2,07	2,07	1,35	2,20	2,90	3,20	2,25	1,61	1,85
5	2,68	2,55	2,41	3,75	3,60	1,60	2,00	1,67	2,94	1,85	3,45	2,20	3,25	1,75	1,85	2,25
6	3,30	2,90	2,59	2,60	2,80	2,90	1,75	1,60	3,26	2,35	3,00	3,60	3,00	3,90	1,85	1,85
7	2,82	2,59	2,28	2,70	2,65	2,20	2,65	3,66	3,40	1,75	3,45	3,20	1,60	2,15	1,30	2,20
8	2,55	2,50	2,36	2,00	2,15	2,35	2,15	2,70	3,53	2,10	2,30	2,30	3,00	2,75	1,85	2,05
9	2,68	2,28	2,28	2,05	1,90	1,50	1,90	4,00	4,00	3,15	5,00	5,00	2,15	2,70	1,45	1,55
10	2,55	2,36	2,23	2,60	2,80	3,15	1,65	2,40	2,27	3,85	3,45	2,20	3,50	3,50	2,55	3,60
11	2,14	—	—	4,25	4,10	2,05	2,45	—	—	2,50	4,65	3,65	4,40	4,05	1,65	1,30
12	2,30	2,41	2,29	2,60	2,50	2,95	3,15	1,57	1,73	2,05	4,65	3,65	2,95	2,95	2,20	2,20
Сума	31,22	27,25	25,86	34,65	34,90	31,05	27,35	25,68	30,67	26,85	44,15	38,50	35,65	32,15	19,76	24,35

Сума=518,79. Середне арифметичне: 518,79:200=2,593%.
(за даними електрографічних записів)

№ кривих	Порядковий номер обстежуваного															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2,36	3,28	3,28	3,18	3,47	1,98	2,46	2,27	2,72	2,27	1,90	2,14	2,52	2,00	2,67	2,25
2	2,75	3,10	2,24	2,27	2,27	2,14	2,72	2,36	3,19	2,38	1,95	2,52	2,24	4,00	3,43	—
Сума	5,11	6,38	5,52	5,45	5,74	4,12	5,18	4,63	5,91	4,65	3,85	4,66	4,76	6,00	6,10	80,31

Середнє арифметичне: 80,31:31=2,587%.

дить до значнішого збільшення провідності порівняно з відкачуванням повітря.

Зміни провідності при поверненні тиску до нульового рівня так само демонстративні в тому та іншому випадках.

Одержані дані дозволяють гадати, що вплив на шкіру позитивного і негативного атмосферного тиску пов'язаний з особливостями її морфологічної структури як фізіологічного провідника і не залежить від зниження або підвищення парціального тиску кисню. Для підтвердження такого уявлення були проведені записи з викладеної методики при дослідженні вуха живого кролика та при умиртвлінні і відділенні вуха від голови через годину після загибелі тварини.

В усіх випадках криві практично відповідають одна одній.

Наведені досліди неодноразово дозволяли нам упевнитися, що водночас із підвищенням температури епідермісу збільшується електропровідність шкіри, а при зниженні температури знижується провідність на таку ж величину, на яку раніше підвищилася, якщо температура відновилася до вихідного рівня. Беручи до уваги необхідність введення поправок у вихідну величину електропровідності, коли в динаміці її реєстрації змінюється температура епідермісу (підйом у барокамері, літаку, підйом в гори з рівнинної місцевості тощо), ми намагались визначити величину цієї поправки в процентах з розрахунку на 1°C .

Обслідувано 24 особи. Реєстрацію провадили графічно і електрометрично.

Одержано 32 графічні записи і проведено 285 підрахунків значень провідності при перепаді температур на $15\text{--}22^{\circ}\text{C}$. Остаточні дані дослідів представлені у зведеній таблиці.

Отже при зміні температури епідермісу і електрода на 1°C електропровідність шкіри змінюється в середньому на 2,6%.

Одержані результати були для нас несподіваними, тому що жива тканина (шкіра) — провідник другого роду, а для нього величина поправки не повинна перевищувати 2%.

Проте це явище закономірне тому, що провідність шкіри зумовлюється в основному епідермісом, який переходить з внутрішньої зони електрода в зовнішню, а вздовж нього так само проводиться електричний струм, як і крізь нього.

За рахунок цього явища істинна площа електрода становить не $0,5\text{ см}^2$, а дещо більше. Прості розрахунки показують, що при площі електрода $0,5\text{ см}^2$ це збільшення не досягає й десятої частини міліметра радіуса окружності застосованого нами електрода і повністю відповідає фізико-хімічним закономірностям, встановленим для провідників другого роду.

Висновки

1. Дослідження активної провідності живої тканини в умовах гіпоксії і високогір'я доцільно проводити на змінному струмі низької напруги і частоти при застосуванні рідинних стандартних електродів.

2. Короткочасна загальна або місцева гіпоксія не приводить до помітних змін електропровідності шкіри, що не має потових залоз або при відсутності їх функцій.

3. Підвищення або зниження атмосферного тиску в електроді впливає на шкіру як фактор механічного тиску.

4. Зміни температури шкіри викликають адекватні провідникам другого роду зміни провідності в середньому на 2,6% на 1°C , при застосуванні тонкостінних стандартних рідинних електродів площею $0,5\text{ см}^2$ та при перепаді температур на $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$.

Література

1. Баевский Р. М.— Проблемы космической биологии, 1962, 2, 25.
2. Васильева В. К.— Нервная система, 1963, в. 4.
3. Крейнина Л. Б.— Сб. трудов Азербайджанского ин-та курортологии и физ. методов лечения. 1962, в. 6, 210.
4. Кутчак Е. Н., Ульянова А. А.— Физиол. журн. СССР, 1954, 40, 1, 82.
5. Маренина А. И.— Физиол. журн. СССР, 1949, 35, 6; Проблема сна, Медгиз 1954, 256.
6. Минут-Сорохтина О. П.— Известия АН СССР, 1939, серия географическая и геофизическая, 4—5, 522.
7. Подерни В. А.— Бюлл. exper. биол. и мед., 1938, 5, 393.
8. Розенталь С. К.— Клин. медицина. 1937, 8, 1023.
9. Сисакян И. М.— Второй групповой космический полет, 1965.
10. Филиппова А. Г., Одинцова Е. К.— Бюлл. exper. биол. и мед., 1946, 10, 24.
11. Шмидт М. С.— Бюлл. Гос. центр. ин-та им. Сеченова, 1933, 2—3, 93.
12. Schock G.— Aerospace Med., 1960, 31, 7, 543.

Надійшла до редакції
5.IV 1966 р.

К вопросу о состоянии электропроводности кожи при кратковременной гипоксии

П. П. Слынько

*Отдел физиологии гипо- и гипероксических состояний
Института физиологии им. А. А. Богомольца Академии наук УССР, Киев*

Резюме

Работа проведена в интересах стандартизации аппаратуры и методов для регистрации активной проводимости живых тканей и датчиков. Изготовлен портативный прибор, работающий на переменном токе низкой частоты и напряжения от батарейного или сетевого питания для электрометрической или графической регистрации кожного-гальванического рефлекса, электропроводности, проницаемости, интенсивности потоотделения, неощутимой перспирации, температуры кожи и др., при условии применения специальных электродов и датчиков.

С помощью этих приборов установлено, что кратковременная общая или местная гипоксия не приводит к заметным изменениям активной проводимости кожи, не имеющей потовых желез или при отсутствии их функции. Повышение или понижение атмосферного давления в трубчатом жидкостном электроде, приложенном к коже, воздействует на нее как фактор механического давления. Изменения температуры кожи и электрода вызывают изменения проводимости в среднем на 2,6% на 1 градус, при применении тонкостенных (1 мм толщины) активных жидкостных электродов площадью 0,5 см² (внутренний диаметр 8 мм) при перепаде температур до 20° С.

On the State of Dermal Conductivity in Transitory Hypoxia

P. P. Slynko

*Division of hypoxic and hyperoxic states of the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology,
Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev*

Summary

A portative device, operating on alternating current of low frequency and voltage from a battery or supply mains, has been developed for electrometric or graphic recording of the cutaneogalvanic reflex, electric conductivity, permeability, intensity of perspiration, insensible perspiration, skin temperature, etc. with use of special electrodes and transducers.