

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ФІЗІОЛОГІЇ ПОТОВИДІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ

П. П. Слинко

Відділ гіпоксичних станів Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ

Функції потовидільної системи людини дуже складні, та їх вивчення становить великий науковий і практичний інтерес. Як було встановлено в раніше проведених дослідженнях [2], функції цієї системи тісно пов'язані з механізмом проникнення крізь шкірний бар'єр у внутрішнє середовище організму людини водорозчинних хімічних речовин. У зв'язку з цим виникла необхідність в уточненні деяких особливостей збудження і гальмування потовиділення, ролі вивідних протоків потових залоз у потовидільному процесі і проведенні хімічних розчинів крізь шкірний бар'єр із зовнішнього середовища всередину організму.

Досліди провадилися з допомогою удосконалених нами і перевірених протягом багатьох років методів метричної і графічної реєстрації електропровідності шкіри людини, які ґрунтуються на застосуванні стабілізованого за напругою і частотою прямокутного або синусоїдального струму до 100 мка на 1 см², використані в ролі датчиків рідинних електродів площею 1 см², заповненні їх певними струмопровідними сполуками з урахуванням впливу різних факторів внутрішнього і зовнішнього середовища на досліджувані показники [4].

Графічна реєстрація провадилася з допомогою електричних схем, що дозволяють оцінювати зміни електропровідності шкіри і кондуктометричних датчиків з точністю не менше 0,5% від абсолютної величини вимірюваної провідності. Для реєстрації були застосовані дзеркальні гальванометри типу М-1030, а також потенціометр типу КСП. Ці схеми дали можливість зареєструвати з високою точністю ті зміни, електропровідності тканин і датчиків, які при звичайних вимірюваннях абсолютних показників провідності не вловлюються внаслідок низької чутливості або точності методів і приладів. Реєстрація абсолютних величин електропровідності провадилася з допомогою викладених методів та електровимірювальним приладом Ф-4355, конструкції Лобачевського [1]. Обслідувані були у легкому верхньому одязі з оголеним торсом при нормальних і підвищених температурах навколишнього повітря. Для збудження потовиділення обслідуваного поміщали в термокамеру при температурі повітря 38—44°C, де він перебував у положенні сидячи. Активні рідинні електроди (площею 1 см²) встановлювали на долонних сторонах правого і лівого передпліч у різних місцях; індіферентні (площею не менше 50 см²) розташовані з протилежних боків по відношенню до активних. До кожної пари електродів підводили напругу від свого генератора, при частоті змінного струму 56 гц і напрузі 1 в, провідники електричного струму екранізували. В ролі струмопровідного розчину у рідинні електроди заливали по 1 мл водопровідної води або 4%-ного розчину хлористого натрію, залежно від мети дослідження. Обслідувано 35 осіб, у всіх обслідуваних закономірності зміни функціонального стану потовидільного апарата були однотипного характеру.

На рис. 1 наведені типові для всіх обслідуваних записи змін електропровідності шкіри, одержані в умовах кімнатної температури, при відсутності в обслідуваних термічного потовиділення, з допомогою рідинних електродів, заповнених водопровідною водою (рис. 1, I), 4%-ним розчином хлористого натрію (рис. 1, II) і запис зміни кількості вологи

на повітрі шкіри з допомогою спеціального датчика (рис. 1, III [3]). На нижній лінії рисунка — відмітка початку і закінчення подразнення обмеженої ділянки шкіри ноги обслідуваного струмом сіткової частоти щільністю не вище $0,3 \text{ ма/см}^2$ для одержання типової кривої шкіро-гальванічного рефлексу (ШГР) на електроді з водопровідною водою (1, 2, 3). Крива 4, 5, 6, 7 характеризує зміну кількості вологи, що виділяється на поверхню шкіри у певні проміжки часу в результаті дифузії крізь гомогенний роговий шар епідермісу 4, 5, 6, 7 і дифузії водночас із виділенням вологи з вивідних протоків потових залоз при виділенні поту



Рис. 1. Зіставлення змін електропровідності шкіри з часом появи вологи на її поверхні.

I — зміни електропровідності шкіри на електроді, заповненому водопровідною водою (1, 2, 3); II — зміни електропровідності шкіри на 4%-ному розчині хлористого натрію; III — зміни насичення датчика водою (потом і парами води) — 4, 5, 6, 7. Запис кривих у напрямку стрілок. Інші позначення в тексті.

5, 6. Якщо протягом кількох секунд виділення поту з вивідних протоків на поверхню шкіри не відбувалось, то після подразнення приблизно через 2 сек виникає підвищення електропровідності шкіри на водопровідній воді і 4%-ному розчині хлористого натрію (рис. 1, а, ділянки 1, 2 і 8, 9), але тривалість підвищення 8, 9 набагато менше 1, 2 — типової кривої ШГР. Подовження 8, 9 у часі становить лише частину від часу підвищення 1, 2 і в усіх випадках переходить у швидке зниження електропровідності 9, 10, тенденція якого припиняється синхронно із закінченням підвищення 1, 2, яке відповідає часу виведення вологи з вивідних протоків потових залоз на поверхню шкіри 5, 6.

Згодом крива II змінює свій напрямок, і з'являється тенденція до її підвищення — 10, 11. Якщо безпосередньо за 1—2 сек перед підвищенням електропровідності, зумовленим дозованим подразненням, закінчилося навіть незначне виділення поту внаслідок будь-яких інших подразнень, то в цьому випадку підвищення кривої II на рис. 1, б настільки вкорочене, що на графіку представлене ледве помітною ділянкою 8—9, яка переходить, практично, водночас з підвищенням кривої I, до зниження 9—10. Така ж закономірність зберігається і в наступних за основною пульсовою хвилею 1—2—3 пульсаціях.

Фізичний сенс змін електропровідності шкіри при виділенні поту з вивідних протоків потових залоз і після припинення його виділення вказує, що період, пов'язаний з виділенням поту на поверхні шкіри, зберігається з розширенням кінцевих відділів вивідних протоків потових залоз і вимиванням хімічних розчинів, що надійшли раніше. Наступний період зниження електропровідності шкіри на водопровідній воді і підвищення — на 4%-ному розчині хлористого натрію зумовлюється звуженням вивідних протоків розчинів хімічних речовин, що стикалися у цей час з поверхнею шкіри. Проведена раніше мікрокінореєстрація виділення поту, при виведенні з вивідної протоки окремої краплі поту показала, що в період звуження вивідної протоки, з якої виділилась дана крапля, здійснюється активне втягування в глибину протоки, в результаті чого на поверхні краплі поту формується воронка у відповідності з ві-

домими законами гідродинаміки. Проведені нами вимірювання сили втягування рідини у вивідні протоки з поверхні шкіри показали, що сила зворотного втягування водних розчинів хімічних речовин після припинення виведення поту не вище 5 см рт. ст.

Такі основні фізичні закономірності, спостережувані у вивідних потоках потових залоз при виведенні на поверхню шкіри окремих крапель поту, зумовленому дією фізичних або психічних подразників. Ці зміни електропровідності шкіри у вигляді кривих ШГР використовуються в практиці для вирішення різних завдань.

Викладені закономірності, спостережувані у вивідних потоках потових залоз при виділенні єдиної краплі поту, відзначаються і при безперервному потовиділенні в результаті перебування обслідуваних у

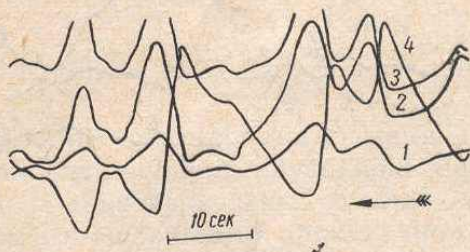


Рис. 2. Зміни електропровідності шкіри при безперервному потовиділенні в чотирьох різних ділянках правого і лівого передпліч.

1, 2, 3 — зміни електропровідності шкіри на електродах, заповнених водопровідною водою, 4 — на 4%-ному розчині хлористого натрію.

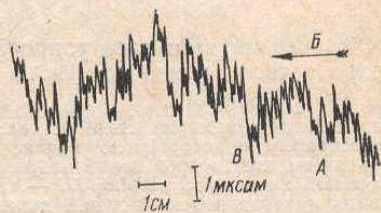


Рис. 3. Циклічні зміни кількості і потужності окремих виділень поту в процесі безперервного потовиділення.

А—В — ділянка збільшення, В — зменшення кількості і потужності окремих виділень поту; запис проведений при швидкості руху стрічки 240 см/год.

термокамері. На рис. 2 наведені типові криві зміни електропровідності шкіри людини в результаті безперервного потовидільного процесу, що виник внаслідок перегрівання. Крива 1, 2, 3 відповідає коливанням електропровідності шкіри, зареєстрованим з допомогою електродів, заповнених водопровідною водою, а крива 4 — 4%-ним розчином хлористого натрію. Якщо розглядати будь-яку з перших трьох кривих та порівнювати зміни її тенденцій з коливаннями кривої 4, то можна відзначити, що початок протилежних напрямків руху цих кривих практично повністю збігається в часі та відображає закономірність, представлену на рис. 1, б, де ділянка кривої II, 8—9 за величиною дуже мала.

Аналізуючи подібні графіки, можна зробити деякі висновки. Синхронні за часом зміни електропровідності шкіри людини на водопровідній воді, що перебувають у протифазі зі змінами на електроді з 4%-ним розчином хлористого натрію, свідчать про те, що 4%-ний розчин хлористого натрію при безперервному потовиділенні, під час пауз між двома сусідніми виділеннями поту встигає проникнути у вивідні протоки потових залоз тільки на таку глибину, звідки відразу повністю вимивається наступним виділенням поту. Заздалегідь проведені дослід з розчинами адреналіну і атропіну показали, що при безперервному потовиділенні фармакологічно активні речовини не проникають у шкіру, і, отже, не викликають зміни тону судин та діяльності симпатичних відділів вегетативної нервової системи. Видимо, 4%-ний розчин хлористого натрію за час паузи між двома сусідніми виділеннями поту не встигає проникнути в епідерміс глибше нижньої границі рогового шару шкіри або ороговілих частин внутрішніх стінок кінцевих відділів протоків.

Спостережувана циклічність у зміні електропровідності шкіри на різних її ділянках свідчить, що піт на поверхню шкіри виділяється у вигляді окремих порцій крапель не тільки при психогенному подразненні, але й при безперервному потовиділенні, яке здійснюється в умовах високої температури повітря. При цьому виділення і припинення виділення поту з вивідних протоків відбувається одночасно на різних ділянках тіла людини при рівномірному нагріванні всієї поверхні. Така особ-

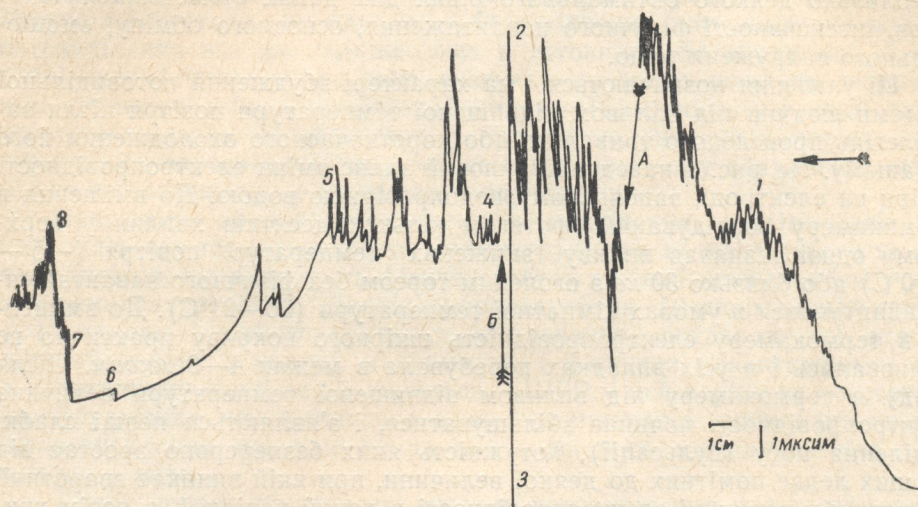


Рис. 4. Зміни електропровідності шкіри при розвитку потовиділення після тривалого і короткочасного охолодження тіла.

А, Б — переноси запису в напрямку стрілок; 1—2 — розвиток потовиділення; 2—3 гальмування потовиділення з початком дії охолоджуючого фактора; 4—5 — «слідове потовиділення»; 5—6 — ділянка зниження електропровідності шкіри і збудливості центрів потовиділення для психогенних подразників; 7—8 — стрибкоподібний розвиток потовиділення при повторному вході в термокамеру. Запис проведений при швидкості руху стрічки 60 см/год.

ливість потовидільної функції, видимо, свідчить про залежність кожного окремого виділення поту від відповідного імпульсу, який надходить з центральної нервової системи.

Цілком можливо, що центральними механізмами зумовлюється й синусоїдальна циклічність у зміні електропровідності шкірного покриву при безперервному балансуванні потовиділення, коли надходження тепла до організму врівноважується витратою його з поверхні шкіри в результаті випаровування поту.

На рис. 3 наведена типова картина циклічної зміни електропровідності шкіри, що реєструється рідинним електродом на водопровідній воді. Кожне окреме підвищення — це окреме виділення поту — посилення електропровідності шкіри, а зниження, що слідує за підвищенням, — зведення просвіту вивідних протоків або пауза між двома виділеннями. У порівнянні з попередніми реєстраціями, швидкість даного запису у 3,7 разів нижча. Кількість окремих пульсацій та їх амплітуда на початку кожного періоду поступового обернено-поступального підвищення електропровідності (АВ) більші, ніж у період зниження (БВ). Грунтуючись на викладених даних, спостережувану циклічність можна пояснити лише так. При зменшенні кількості поту, виведеного на поверхню шкіри, температура шкірного покриву на глибині розміщення терморецепторів підвищується. До центрів терморегуляції надходять імпульси, у відповідь на які збільшується кількість та потужність окремих виділень поту.

Збільшується кількість випаровуваного з поверхні шкіри поту — знижується температура її поверхні в області терморцепторів, зменшується кількість імпульсів до центрів терморегуляції, знижується частота та потужність окремих пульсацій та відповідно змінюється електропровідність. Згодом починається наступний подібний цикл. Можна гадати, що дана хвилеподібна циклічність у зміні потужності і частота окремих виділень поту відображає балансування теплорегуляції організму людини близько деякого оптимального рівня для даних біометеорологічних умов, інтенсивності фізичного навантаження, основного обміну, емоціонального напруження тощо.

Ці уявлення позначаються і на характері збудження потовидільної системи людини під впливом підвищеної температури повітря після заздалегідь проведеного тривалого або короточасного охолодження його організму. На рис. 4 наведений типовий запис зміни електропровідності шкіри на електроді, заповненому водопровідною водою. До вміщення в термокамеру обслідуваний протягом кількох десятків хвилин у верхньому одязі зазнавав впливу знижених температур повітря (-5 — -10°C) або близько 30 хв з оголеним торсом без фізичного навантаження адаптувався в умовах кімнатної температури (20 — 21°C). До вміщення в термокамеру електропровідність шкірного покриву практично не змінювалась і в усіх випадках перебувала в межах 4—9 мксим. Після входу в термокамеру під впливом підвищеної температури величина електропровідності починає збільшуватися, і з'являються перші слабкі виділення поту (пульсації), потужність яких безперервно зростає від перших ледве помітних до деякої величини, при якій виникає зворотний напрямок у величині електропровідності в даний період 1, а потім хвилеподібно підвищується далі до положення 2. Для збереження чутливості потенціометра на тому самому рівні здійснений перенос запису донизу — А. У положенні 2 із зволоженою потім поверхнею шкіри обслідуваний вийшов з термокамери. Безпосередньо після першого відчущання обслідуваним інтенсивного холоду, що виник при випаровуванні поту в умовах кімнатної температури повітря, потовиділення припиняється. При цьому електропровідність шкіри різко знижується — 3 і при даній чутливості приладів виходить за шкалу. Після швидкого і повного випаровування поту температура шкіри швидко підвищується, і при відсутності руху повітря на значно нижчому рівні виникають окремі групові, потім поодинокі виділення поту, які стають усе більш рідкими і повністю припиняються — ділянка 4—5. Для реєстрації змін електропровідності шкіри після припинення потовиділення у момент виходу з термокамери методом протируху, як і в раніше описаному випадку, здійснюється перенос запису знизу вгору Б. На ділянці 5—6 відбувається охолодження обслідуваного, в процесі чого поступово знижується збудливість центрів потовидільної системи, які все менш і менш реагують на психогенні подразнення. Як свідчить рис. 4, на ділянці 5—6 є дві окремі пульсації (кривих ШГР), одержані в результаті того, що обслідуваному пропонували відповісти на індеферентні питання. При дальшому охолодженні обслідуваного аналогічні та більш сильні подразники вже не викликали ШГР, і тільки защеПЛення шкірної складки до виникнення сильного болю привело до незначного виділення поту — пульсація 6. Слід відзначити, що інтенсивність і тривалість потовиділення, яке виникає після випаровування поту, і якому можна дати назву «слідового потовиділення», у різних обслідуваних має різний характер і, видимо, залежить від ступеня нагрівання організму, його ваги, товщини, гіподермального шару шкіри, типу нервової системи, рівня обміну тощо.

Різний стан збудливості потовидільної системи позначається на різному характері розвитку потовиділення після тривалого і короткочасного охолодження організму обстежуваного. Так, наприклад, розвиток потовиділення після повторного перебування обстежуваного в термокамері відбувається не поступово, як спочатку, а відразу після входу в термокамеру та відображається стрибкоподібними підвищеннями електропровідності шкіри — 7, а потім 8, після чого поступово розвивається хвилюподібна зміна інтенсивності і потужності окремих виділень поту. Можна припустити, що одразу після закінчення потовиділення центри потовиділення все ще залишаються в готовності до збудження, і при появі специфічного подразника реагують на нього швидким включенням діяльності всієї потовидільної системи. Відмінність у реакції системи потовиділення на психогенні і больові подразники в порівнянні з термічним подразненням, видимо, свідчить про різну збудливість центрів по відношенню до різного роду подразників.

Залежність збудливості системи потовиділення від імпульсів, що надходять від терморецепторів, демонструє стан потовидільного апарата у плавців, які виконують фізичну роботу високої інтенсивності у воді при температурі 25° С. Досліди, проведені на 50 спортсменах-першорозрядниках і майстрах спорту з плавання, показали, що потовидільний апарат в умовах максимальних фізичних навантажень у воді в спортивному одязі не збуджується, і ШГР у цей період не реєструється. Збудження потовидільного апарата виявилось можливим тільки після висихання поверхні шкіри та відповідного нагрівання тіла після виходу з води.

Отже, пороги збудливості системи потовиділення для термічних та інших фізичних і психічних подразників різні і істотно змінюються залежно від умов терморегуляції організму людини.

Висновки

1. Виведення поту на поверхню шкіри при різних інтенсивностях потовиділення здійснюється окремими порціями різної величини (залежно від умов терморегуляції), початок і припинення виведення яких на різних ділянках тіла збігається за часом і амплітудою.

2. Під час потовиділення спостерігається чергування ритмічних підвищень і знижень числа і потужності окремих виділень поту, пов'язаних, очевидно, з балансуванням потовидільного процесу близько деякого оптимального рівня при даних умовах терморегуляції організму.

3. Гальмування потовиділення при впливі різко охолоджуючого фактора настає практично водночас із початком дії цього фактора.

4. Збудливість системи потовиділення, видимо, коливається залежно від середньої температури тіла і температури поверхні її шкірного покриву.

5. При безперервному потовиділенні водні розчини хімічних речовин із зовнішнього середовища всередину організму по вивідних протоках потових залоз не проникають.

Література

1. Лобачевский Г. С.— Анализ и расчет транзисторных электроизмерительных приборов. Автореф. дисс., К., 1965.
2. Слынько П. П.— Фізіол. журн. АН УРСР, 1967, XIII, 4, 562.
3. Слынько П. П.— Датчик для определения количества воды, выделяемой с потом. Авт. свид. 195034, 1967.
4. Слынько П. П.— Электропроводность кожного покрова и его проницаемость для водорастворимых веществ. Автореф. дисс. К., 1968.

Надійшла до редакції
2.IV 1971 р.

SOME PECULIARITIES IN PHYSIOLOGY OF HUMAN DIAPHORETIC SYSTEM

P. P. Slynko

*Department of Hypoxia States, the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology,
Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev*

Summary

Observations were carried out with 35 patients. The regularities observed are of uniform character in all the cases. Excretion of sweat onto the skin surface with different intensities of diaphoresis occurs in separate portions of different magnitude. During diaphoresis an alternation is observed of rhythmic increases and decreases in a number and power of separate sweat ejections connected, probably, with balancing the diaphoretic process about some optimal level under given conditions of organism thermoregulation. Inhibition of diaphoresis under the effect of a sharply cooling factor takes place practically simultaneously with the beginning of this factor action. Excitability of the diaphoresis centres is likely to vary depending on the body average temperature and temperature of its cutaneous covering. At continuous diaphoresis water solutions of chemical substances from environment do not penetrate inside the organism by the excretory ducts.