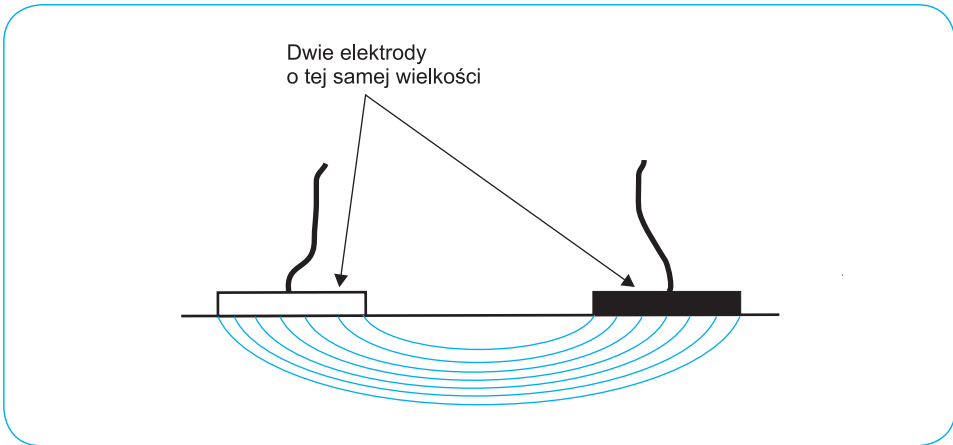


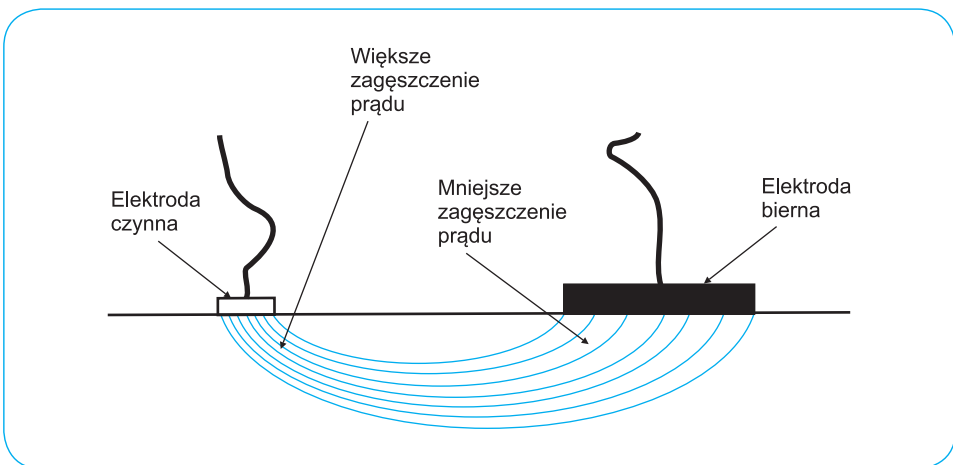
## 1.2. Ogólne zasady elektroterapii

Przepływ prądu jest uzależniony od wielkości elektrod i ich wzajemnego ułożenia.



**Rycina 4.** Gęstość prądu pod elektrodami o takiej samej powierzchni.

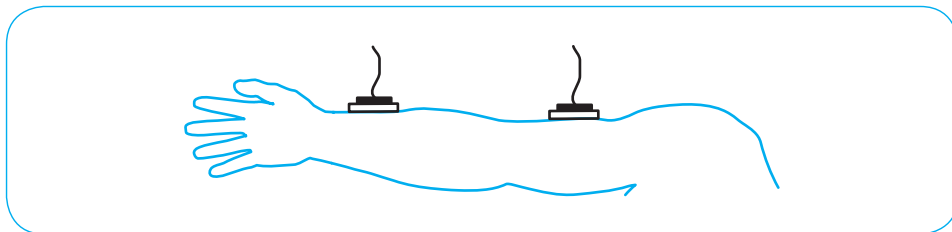
W przypadku elektrod o różnej powierzchni gęstość prądu jest większa pod elektrodą mniejszą, zwaną *elektrodą czynną*, od której zależy efekt leczniczy. Większa *elektroda bierna* zamyka obwód prądu, nie działając terapeutycznie.



**Rycina 5.** Gęstość prądu pod elektrodami o różnej powierzchni (elektroda czynna i bierna).

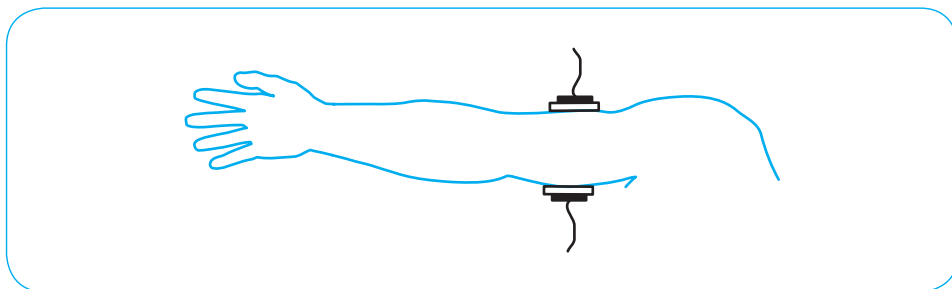
Wzajemne ułożenie elektrod względem siebie warunkuje przepływ prądu podłużny lub poprzeczny.

**Ułożenie podłużne.** Elektrody ułożone są w długiej osi ciała lub wzdłuż kończyny, dzięki czemu naczynia krwionośne i limfatyczne oraz nerwy stanowią mniejszą przeszkodę dla przepływu prądu. Ułożenie takie powoduje płytką penetrację prądu.



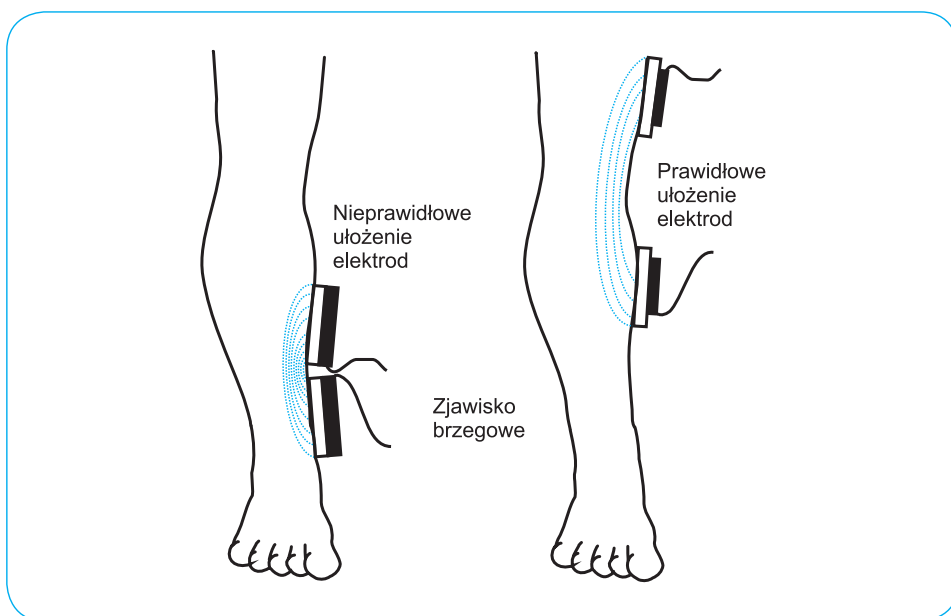
**Rycina 6.** Podłużne ułożenie elektrod.

**Ułożenie poprzeczne.** Elektrody umieszczone są naprzeciw siebie tak, że prąd przepływa przez wymiar poprzeczny ciała lub kończyny. Takie ułożenie warunkuje głębszą penetrację prądu. Przepływając, natrafia on na tkanki o różnym stopniu przewodnictwa, zarówno na dobrze przewodzące, jak i na te mające dużą oporność właściwą, np. kości. W rzeczywistości prąd nie płynie przez staw, lecz okrąża go, omijając struktury o największym oporze.



**Rycina 7.** Poprzeczne ułożenie elektrod.

W wyniku zbyt bliskiego ułożenia elektrod może dojść do zagęszczenia prądu na ich sąsiadujących ze sobą krawędziach. Zjawisko to nazywane jest *działaniem brzegowym*. Elektrody należy ułożyć więc tak, aby znajdowały się w pewnej odległości od siebie, a styki łączące je z kablami wypadały zawsze na przeciwnych krawędziach.

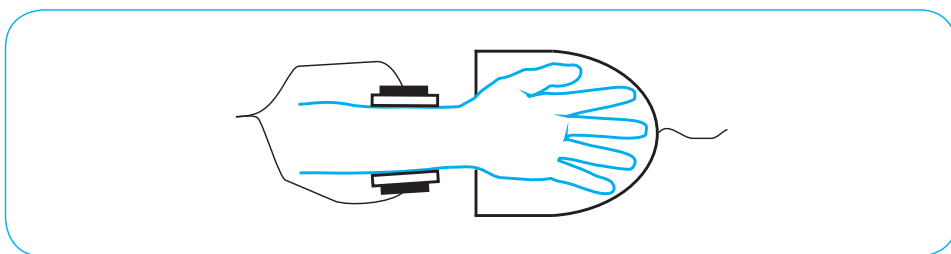


**Rycina 8.** Prawidłowe i nieprawidłowe ułożenie elektrod (zjawisko brzegowe).

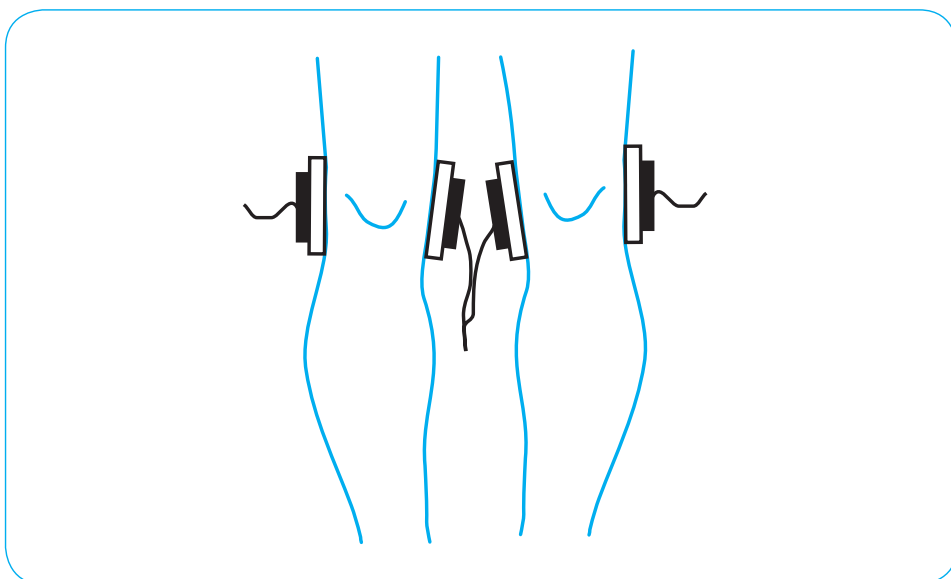
W przypadku większości zabiegów elektroczniczych, szczególnie zaś tych z zastosowaniem prądów jednokierunkowych, zaleca się stosowanie pod elektrodami podkładów. Zwilżone wodą lub roztworem fizjologicznym NaCl podkłady zabezpieczają skórę przed uszkodzeniem związkami powstałymi w procesie wtórnej elektrolizy oraz umożliwiają lepsze wnikanie prądu w tkanki, znosząc w znacznym stopniu barierę, jaką stanowi dla przepływającego prądu słabo uwodniony martwy naskórek. Elektrody umieszcza się w woreczkach wykonanych z gąbki. Za podkład mogą służyć również wilgotna gaza lub płótno. Powinien on wystawać 1–2 cm poza brzeg elektrody. Zanieczyszczenia podkładu mogą być przyczyną uszkodzenia skóry. Najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie podkładów jednorazowego użytku. Ceratki nakładane na elektrody zabezpieczają przed zmoczeniem wodą taśm i woreczków z piaskiem wykorzystywanych do mocowania elektrod.

W zabiegach elektroczniczych z zastosowaniem prądów dwukierunkowych podkłady pod elektrodami nie są konieczne. W tych przypadkach prawdopodobieństwo uszkodzenia tkanki prądem jest minimalne. W trakcie zabiegów korzysta się z samoprzylepnych elektrod żelowych lub zamiast podkładu używa się żeli ułatwiających przepływ prądu. Ze względów higienicznych najbardziej wskazane jest stosowanie elektrod jednorazowych.

W niektórych rodzajach terapii stosuje się więcej niż dwie elektrody, np. dwie elektrody czynne oraz trzecią, która zamyka obwód prądu zabiegowego, albo cztery elektrody (dwa niezależnie działające kanały). Dzięki nowo-



**Rycina 9.** Przykładowy zabieg z zastosowaniem trzech elektrod.



**Rycina 10.** Przykładowy zabieg z zastosowaniem czterech elektrod.

czesnym aparatom można wykonywać zabiegi z użyciem dwu, trzech i więcej niezależnych kanałów. Daje to możliwość przeprowadzenia zabiegu na kilku różnych miejscach jednocześnie.

Ułożenie elektrod jest zależne od umiejscowienia procesu chorobowego oraz metody elektroterapii.

**Ułożenie miejscowe.** Elektrody układa się w miejscu procesu chorobowego lub uszkodzenia, np. na powierzchni uszkodzonego stawu.

**Ułożenie segmentarne.** Opiera się na powiązaniu, jakie istnieje pomiędzy obszarami skóry, tkanki podskórnej, mięśniami, naczyniami i narządami wewnętrznymi unerwianymi przez poszczególne segmenty rdzenia kręgowego. Zalecane jest, jeżeli ból występuje segmentarnie lub dotyczy narządów wewnętrznych, a także w przypadku gdy miejsca, w którym toczy

**Tabela 1.** Schemat rdzeniowy, korzenie ruchowe i nerwy obwodowe unerwiające ważniejsze mięśnie – kończyna górna

Mięsień	Korzeń	Nerw obwodowy
M. czworoboczny	C <sub>3</sub> –C <sub>4</sub>	N. dodatkowy
Przepona	C <sub>3</sub> –C <sub>5</sub>	N. przeponowy
M. równoległoboczny	C <sub>4</sub> –C <sub>5</sub>	N. grzbietowy łopatki
M. piersiowy większy (przyczep mostkowy)	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. piersiowo-boczny
M. podgrzebieniowy	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. nadłopatkowy
M. nadgrzebieniowy	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. nadłopatkowy
M. naramienny	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. pachowy
M. dwugłowy ramienia	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. mięśniowo-skróny
M. ramienny	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. mięśniowo-skróny
M. ramiennie-promieniowy	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. promieniowy
M. prostownik promieniowy długi nadgarstka	C <sub>5</sub> –C <sub>6</sub>	N. promieniowy
M. obły większy	C <sub>5</sub> –C <sub>7</sub>	N. podłopatkowy
M. odwracacz przedramienia	C <sub>6</sub> –C <sub>7</sub>	N. międzykostny tylny (przedramienia)
M. nawrotny obły	C <sub>6</sub> –C <sub>7</sub>	N. pośrodkowy
M. zginacz promieniowy nadgarstka	C <sub>6</sub> –C <sub>7</sub>	N. pośrodkowy
M. najszerszy grzbietu	C <sub>6</sub> –C <sub>8</sub>	N. grzbietowy łopatki
M. piersiowy większy (przyczep mostkowy)	C <sub>6</sub> –C <sub>8</sub>	N. piersiowo-boczny
M. trójgłowy ramienia	C <sub>6</sub> –C <sub>8</sub>	N. promieniowy
M. prostownik łokciowy nadgarstka	C <sub>7</sub> –C <sub>8</sub>	N. międzykostny tylny (przedramienia)
M. prostownik palców	C <sub>7</sub> –C <sub>8</sub>	N. międzykostny tylny (przedramienia)
M. odwodziciel długi kciuka	C <sub>7</sub> –C <sub>8</sub>	N. międzykostny tylny (przedramienia)
M. prostownik długi i krótki kciuka	C <sub>7</sub> –C <sub>8</sub>	N. międzykostny tylny (przedramienia)
M. prostownik wskaziciela	C <sub>7</sub> –C <sub>8</sub>	N. międzykostny tylny (przedramienia)
M. zginacz głęboki palców	C <sub>7</sub> –C <sub>8</sub>	N. międzykostny przedni (przedramienia) i n. łokciowy
M. zginacz długi kciuka	C <sub>7</sub> –C <sub>8</sub>	N. międzykostny przedni (przedramienia)
M. zginacz powierzchowny palców	C <sub>7</sub> –Th <sub>1</sub>	N. pośrodkowy
M. zginacz łokciowy nadgarstka	C <sub>7</sub> –Th <sub>1</sub>	N. łokciowy
M. odwodziciel krótki kciuka	C <sub>8</sub> –Th <sub>1</sub>	N. pośrodkowy
Drobne pozostałe mięśnie dłoni i palców	C <sub>8</sub> –Th <sub>1</sub>	N. łokciowy lub n. pośrodkowy

się proces chorobowy, nie można objąć działaniem prądu (np. z powodu uszkodzenia skóry bądź rozległości). Zastosowanie ułożenia segmentarnego jest związane z budową i topografią układu nerwowego. Z rdzenia kręgowego wychodzi 31 par nerwów rdzeniowych. Segment z jedną parą nerwów rdzeniowych określany jest jako *neuromer*. Włókna ruchowe (do mięśni szkieletowych) opuszczają rdzeń w postaci korzeni przednich (brzuszných). Włókna czuciowe wchodzą do rdzenia jako korzeń tylny (grzbietowy). Włókna autonomiczne wychodzą z korzeniami przednimi, rzadziej tylnymi, lub dochodzą do zwojów autonomicznych i dołączają do nerwów rdzeniowych. W obrębie rdzenia kręgowego korzenie przednie łączą się z korzeniami tylnymi w nerwy rdzeniowe. Nerwy rdzeniowe odcinka szyjnego i lędźwiowo-krzyżowego tworzą splety – z nich biorą początek nerwy obwodowe. Włókna ruchowe nerwów czaszkowych, nerwów rdzeniowych odcinka piersiowego oraz nerwów obwodowych kończą się w obrębie mięśni szkieletowych. Jedynie w części piersiowej zostaje zachowany układ segmentarny (metameryczny).

*Miotom* jest to grupa mięśni unerwianych przez jeden korzeń przedni rdzenia kręgowego (tabela 1 i 2). Z praktycznego punktu widzenia niezbęd-

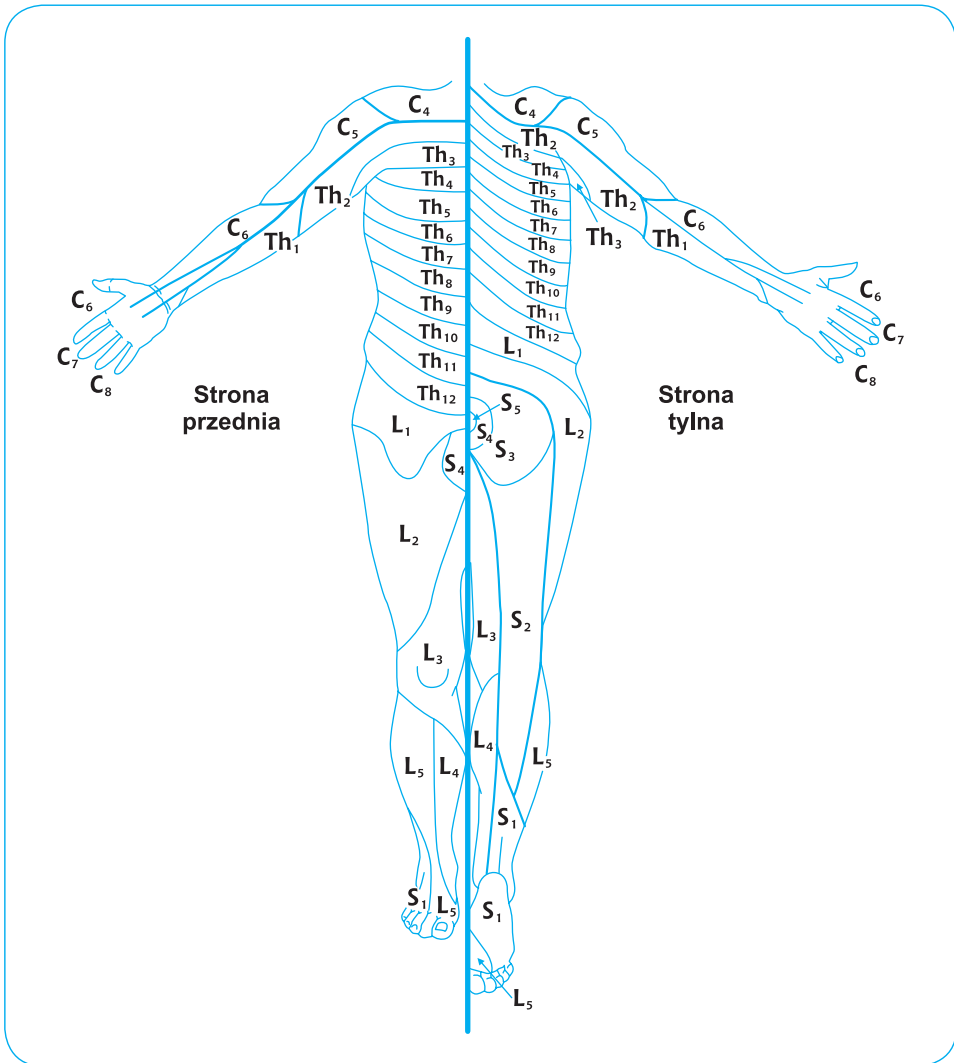
**Tabela 2.** Schemat rdzeniowy, korzenie ruchowe i nerwy obwodowe unerwiające ważniejsze mięśnie – kończyna dolna

Mięsień	Korzeń	Nerw obwodowy
M. biodrowo-lędźwiowy	L <sub>1</sub> -L <sub>3</sub>	N. rdzeniowe i n. udowy
M. czworogłowy uda	L <sub>2</sub> -L <sub>4</sub>	N. udowy
M. przywodziciel wielki	L <sub>3</sub> -L <sub>4</sub>	N. zasłonowy
M. piszczelowy tylny	L <sub>4</sub> -L <sub>5</sub>	N. piszczelowy
M. piszczelowy przedni	L <sub>4</sub> -L <sub>5</sub>	N. strzałkowy głęboki
M. pośladowy średni i mały	L <sub>4</sub> -S <sub>1</sub>	N. pośladowy górny
M. napinacz powięzi szerokiej	L <sub>5</sub> -S <sub>1</sub>	N. pośladowy górny
M. prostownik długi palców	L <sub>5</sub> -S <sub>1</sub>	N. strzałkowy głęboki
M. prostownik długi palucha	L <sub>5</sub> -S <sub>1</sub>	N. strzałkowy głęboki
M. prostownik krótki palców	L <sub>5</sub> -S <sub>1</sub>	N. strzałkowy głęboki
M. strzałkowy długi	L <sub>5</sub> -S <sub>1</sub>	N. strzałkowy powierzchowny
M. strzałkowy krótki	L <sub>5</sub> -S <sub>1</sub>	N. strzałkowy powierzchowny
M. pośladowy wielki	L <sub>5</sub> -S <sub>2</sub>	N. pośladowy dolny
M. zginacz długi palców	L <sub>5</sub> -S <sub>2</sub>	N. piszczelowy
M. brzuchaty łydki i m. płaszczkowaty	S <sub>1</sub> -S <sub>2</sub>	N. piszczelowy
Mięśnie podkolanowe	L <sub>5</sub> -S <sub>2</sub>	N. kulszowy
Pozostałe drobne mięśnie stopy	S <sub>1</sub> -S <sub>2</sub>	N. piszczelowe

na jest wiedza, jakie korzenie ruchowe i odpowiednie im miotomy mają związek z poszczególnymi ruchami oraz które mięśnie są zaopatrywane przez poszczególne korzenie i nerwy.

*Dermatom* jest to obszar skóry unerwiany przez odpowiednie korzenie czuciowe rdzenia kręgowego. Na tułowie dermatomy układają się w poziome pasy ( $Th_3$ – $Th_{12}$ ). Ich rozkład może się nieznacznie różnić u poszczególnych osób.

W odróżnieniu do układu somatycznego, który unerwia mięśnie poprzecznie prążkowane, autonomiczny układ nerwowy unerwia mięśnie



**Rycina 11.** Układ dermatomów.

gładkie, mięsień sercowy i gruczoły. W terapii segmentarnej oddziałuje się głównie na ośrodki układu nerwowego współczulnego (umiejscowione w rogach bocznych rdzenia kręgowego  $C_8-L_3$ ) oraz przywspółczulnego (znajdujące się w części krzyżowej rdzenia kręgowego).

**Punkty spustowe.** Są to niewykazujące wyraźnych zmian patologicznych miejsca, których ucisk powoduje nasilenie dolegliwości bólowych charakterystycznych dla danego schorzenia.

**Miejsca akupunkturowe.** Według medycyny chińskiej punkty akupunkturowe są punktami kontaktowymi narządu wewnętrznego ze środowiskiem zewnętrznym. Zakłócenie czynności narządu wewnętrznego jest przekazywane na zewnątrz za pomocą medianu (kanału) do odpowiedniego punktu na skórze. Odwrotnie, również bodźce zewnętrzne działające na określone punkty wpływają na pracę narządów wewnętrznych.

W zabiegach elektrolecniczych stosuje się **elektrody płaskie** różnych rozmiarów oraz **elektrody specjalne**. Elektrody płaskie wykonane są najczęściej z miękkiego tworzywa, które ułatwia ich dobre przyleganie do nierównych powierzchni. W aparatach starszego typu używa się elektrod z folii aluminiowej. Spośród elektrod specjalnych w elektroterapii okolic twarzy stosuje się najczęściej tzw. półmaskę Bergonięgo. Wykorzystuje się też niekiedy elektrody punktowe, za pomocą których terapeuta wykonuje zabieg manualnie. Są one również stosowane w trakcie zabiegów elektrostymulacji.



**Rycina 12.** Zestaw elektrod wraz z wyposażeniem do zabiegów elektroterapii (fotografia udostępniona przez firmę Elecpol Lupa Migaj Sp. j.).



Przygotowanie do zabiegu polega na oczyszczeniu skóry oraz prawidłowym ułożeniu pacjenta. Pozycja powinna zapewnić maksymalne rozluźnienie mięśni. Ewentualne niewielkie ubytki naskórka należy zabezpieczyć płatkami folii lub wazeliną. Szczególnej ostrożności wymagają osoby z zaburzeniami czucia, nie mogą bowiem przekazać odczuć związanych z przepływem prądu. Przed przystąpieniem do zabiegu trzeba zwrócić uwagę, czy na drodze przepływu prądu nie znajdują się metalowe elementy, np. łańcuszki, kolczyki lub zegarki. Ich obecność może doprowadzić do oparzeń.



**Rycina 13.** Przykład elektrostymulacji grupy mięśni przedniej strony ud (fotografia udostępniona przez firmę Elecpol Lupa Migaj Sp. j.).

### 1.3. Elektroterapia prądem stałym

Prąd stały wykorzystuje się w zabiegach galwanizacji i jonoforezy oraz w kąpielach elektryczno-wodnych. Pod jego wpływem dochodzi w organizmie do powstania wielu zjawisk fizykochemicznych i fizjologicznych.

**Zjawiska elektrochemiczne** związane są z zachodzącym w tkance procesem elektrolizy. Na skutek przyłożenia prądu stałego dochodzi do prze-

mieszczenia zawartych w tkance jonów elektrolitów w kierunku odpowiednich elektrod. Jony dodatnie (kationy), np. jony metali i jony wodorowe, poruszają się w stronę katody. Jony ujemne (aniony), np. jony reszt kwasowych i grup wodorotlenowych, przemieszczają się w kierunku anody. Aniony po zetknięciu się z anodą oddają nadmiar elektronów, tworząc cząsteczki odpowiednich związków. Kationy zubożniają się na katodzie i stają się cząsteczkami obojętnymi. Reakcje zachodzące na elektrodach noszą nazwę *reakcji pierwotnych*. Zubożnione jony reagują jednak dodatkowo z tworzywem elektrody lub wodą (*reakcje wtórne*), z powodu czego substancje gromadzone na elektrodach różnią się od produktów pierwotnych. Tłumaczy to gromadzenie się jonów wodorotlenowych  $\text{OH}^-$  w pobliżu katody, co przy dostatecznie dużej gęstości prądu może wywołać uszkodzenie tkanki o charakterze rozplywnym (rozpuszczenie białek). Bardzo niskie pH w okolicy anody wywołane gromadzeniem się jonów  $\text{H}^+$  przy dostatecznie dużej gęstości prądu może być powodem ścinania białka. Elektrolityczne destrukcyjne działanie prądu stałego wykorzystuje się w chirurgii.

**Zjawiska elektrotermiczne** związane są z przemianą energii elektrycznej w ciepłą. Zgodnie z prawem Joule'a–Lenza ilość ciepła wydzielana podczas przepływu prądu przez przewodnik jest wprost proporcjonalna do iloczynu oporu elektrycznego oraz kwadratu natężenia prądu i czasu jego przepływu. Ilość ciepła powstała w tkankach w czasie przepływu prądu stałego o małym natężeniu jest niewielka i wynika z oddziaływania poruszających się jonów na środowisko oraz ich wzajemnych zderzeń.

**Zjawiska elektrokinetyczne** wynikają z przemieszczania się jonów i innych cząsteczek posiadających ładunek elektryczny. Gromadzą się one w otoczeniu błon półprzepuszczalnych, których nie są w stanie przeniknąć (prąd płynie tylko w jednym kierunku). Unieruchomione na tej granicy powodują gromadzenie się cząsteczek o przeciwnym ładunku po drugiej stronie bariery anatomicznej.

Przykładami zjawisk elektrokinetycznych powstałych w tkance pod wpływem przyłożonego prądu są *elektroforeza* i *elektroosmoza*. W zjawisku elektroforezy w wyniku przyłożonego napięcia dochodzi do wędrówki cząsteczek koloidu w polu elektrycznym. Cząsteczki naładowane dodatnio poruszają się w stronę katody (kataforeza), natomiast cząsteczki naładowane ujemnie – w kierunku anody (anaforeza). Procesom elektroforezy może towarzyszyć zjawisko elektroosmozy, czyli wędrówki całego ośrodka fazy rozpraszającej względem fazy rozproszonej przez ośrodek kapilarny, np. przez błonę komórkową. W rezultacie dochodzi do przesunięcia się wody w kierunku katody, czego efektem jest lekki obrzęk w jej okolicy oraz zmniejszenie się uwodnienia w pobliżu anody.

Ruch jonów oraz cząsteczek w wyniku zjawisk elektrokinetycznych powoduje zmiany w składzie środowiska wewnątrz- i zewnątrzkomórkowego. Są one inicjatorami przemian wewnątrzkomórkowych, takich jak:

- zmiany metaboliczne komórki,
- zmiany pobudliwości błony komórkowej,
- przenikanie jonów przez błony komórkowe,
- przyspieszenie lub opóźnienie uwalniania niektórych substancji, np. wpływających na efekt naczynioruchowy bądź neuromediatorów.

### 1.3.1. Galwanizacja

W zabiegu galwanizacji wykorzystywany jest prąd stały. Płyne on w jednym kierunku. Wilgotne podkłady stosowane pod elektrodami zmniejszają prawdopodobieństwo uszkodzeń skóry na skutek zjawisk elektrolitycznych zachodzących na elektrodach.

Elektroda czynna może być połączona z dodatnim lub ujemnym biegunem. W zależności od tego ma się do czynienia z **galwanizacją anodową** lub **katodową**. Galwanizacja katodowa wywiera na tkankę działanie pobudzające. Pod elektrodą obserwuje się wzrost napięcia mięśniowego i pH (odczyn zasadowy) oraz intensywne zaczerwienienie skóry. Galwanizacja anodowa powoduje zmniejszenie pobudliwości tkanek – spadek napięcia mięśniowego i pH (odczyn kwaśny) oraz mniejsze zaczerwienienie skóry.

W ułożeniu podłużnym przepływający prąd warunkuje **galwanizację wstępującą** lub **zstępującą**. Przepływ wstępujący stosuje się w celu obniżenia pobudliwości, rozluźnienia mięśni i zmniejszenia bólu, przepływ zstępujący – aby zwiększyć pobudliwość (np. w terapii niedowładów).

**Tabela 3.** Porównanie działania anody i katody

Anoda	Katoda
Spadek pH (odczyn kwaśny)	Wzrost pH (odczyn zasadowy)
Zmniejszenie pobudliwości tkanki – anelektrotonus	Zwiększenie pobudliwości tkanki – katelektrotonus
Spadek napięcia mięśniowego	Wzrost napięcia mięśniowego
Mierne zaczerwienienie skóry	Intensywne zaczerwienienie skóry
Lekkie odwodnienie skóry	Lekki obrzęk skóry