



전기치료

제1장 의료용 전기물리 개요

1. 물질과 전기의 기초 원리

1) 원자의 구조와 하전 입자

모든 물질의 근간인 원자는 중심부에 위치한 원자핵과 그 주변을 공전하는 전자로 구성된다. 원자핵은 다시 양전하를 띠는 양성자와 전기적으로 중성 상태인 중성자로 나뉜다. 원자의 전체 질량 중 약 99.95%라는 절대적인 비중을 원자핵이 차지하고 있으며, 양성자의 개수는 해당 원소가 어떤 종류인지를 결정하는 결정적 지표가 된다.

하전 입자의 특성을 정리하면 다음과 같다.

- **전자:** 음전하를 띠며 원자핵 주위를 일정한 궤도로 회전한다. 외부 에너지에 의해 궤도를 이탈하면 자유전자가 되어 전류의 흐름을 만든다.
- **양성자:** 전자의 전하량과 크기는 같으나 부호가 반대인 양전하를 가진다.
- **중성자:** 전하를 띠지 않으며 양성자와 함께 핵력을 통해 원자핵의 안정성을 유지한다.

2) 물질의 결합 원리

원자들이 모여 분자나 결정을 이룰 때 발생하는 결합 방식은 전기적 특성에 큰 영향을 미친다. 주요 결합 유형은 다음과 같이 구분할 수 있다.

결합 유형	주요 특징 및 원리
금속결합	금속 양이온들 사이를 자유전자가 자유롭게 이동하며 결합을 유지하는 방식이다.
이온결합	전자를 주고받아 형성된 양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력에 의한 결합이다.
수소결합	수소 원자와 전기 음성도가 큰 원자 사이에서 발생하는 비교적 약한 전기적 인력이다.
공유결합	두 원자가 전자쌍을 서로 공유함으로써 최외각 전자 껍질을 채워 안정화되는 결합이다.



2. 전기물리학의 기본 법칙

1) 정전기적 특성

전하 사이에 작용하는 힘은 쿨롱의 법칙으로 설명된다. 같은 극성의 전하끼리는 서로 밀어내는 반발력이 작용하고, 다른 극성의 전하끼리는 서로 당기는 흡인력이 발생한다. 이러한 힘의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하며, 전하 사이 거리의 제곱에 반비례하는 특성을 갖는다.

정전기 유도 현상은 대전되지 않은 도체에 대전체를 가까이 가져갈 때, 도체 내부의 전하들이 재배치되면서 대전체와 가까운 쪽에는 이종 전하가, 먼 쪽에는 동종 전하가 모이는 현상을 의미한다. 이때 전하의 흐름을 방해하면서 전기장을 전달하는 물질을 유전체라고 한다.

2) 전기장과 전위

전하가 존재하는 공간 주변에는 전기적 힘이 미치는 영역인 전기장이 형성된다. 전기장 내의 한 점이 가지는 전기적 위치에너지로 전위라고 하며, 두 점 사이의 전위 차이를 전위차 또는 전압이라 부른다. 이는 전류를 흐르게 하는 원동력이 된다.

3. 전류의 역학적 이해

1) 전류의 정의와 전도 유형

전류는 전하의 시간당 흐름을 의미하며, 전하가 이동하는 매질과 방식에 따라 다음과 같이 분류된다.

- **이온화전류:** 액체나 기체 상태에서 이온화된 입자들이 이동하며 발생하는 전류이다.
- **전도전류:** 도체 내부에서 자유전자가 이동하여 생기는 가장 일반적인 형태의 전류이다.
- **변위전류:** 유전체 내에서 전하의 직접적인 이동은 없으나 전기장의 변화에 의해 발생하는 전류로, 고주파 치료기기 원리에 중요하다.

2) 전기 회로의 주요 법칙

전기 회로를 구성하는 전압, 전류, 저항 사이의 관계는 **옴의 법칙**에 의해 정의된다. 전류의 세기는 전압에 비례하고 저항에 반비례한다.

전류가 흐를 때 발생하는 에너지 관계는 아래와 같이 정리할 수 있다.

- **줄의 법칙:** 도체에 전류가 흐를 때 발생하는 열량은 전류의 제곱, 저항, 통전 시간에 비례한다. 이는 온열 치료의 물리적 근거가 된다.
- **전력:** 단위 시간당 소비되는 전기에너지로, 전압과 전류의 곱으로 나타낸다.

3) 자기장과 전자기 유도

전류가 흐르는 도체 주변에는 반드시 자기장이 형성된다. 반대로 자기장의 변화를 통해 도체에 기전력을 발생시키는 현상을 전자기 유도라고 한다. 이는 변압기나 유도 코일을 사용하는 각종 전기치료 장비의 핵심 설계 원리이다.



제2장 의료용 전기생리 개요

전기치료의 임상적 적용을 위해서는 외부에서 가해지는 전기 자극이 인체의 최소 단위인 세포, 특히 신경과 근육세포에 어떠한 생리적 반응을 유도하는지 이해해야 한다. 본 장에서는 세포막의 전기적 특성과 자극에 따른 활동전압의 발생 기전을 상세히 다룬다.

1. 세포막의 전기적 특성과 이온 이동

1) 안정막 전압 (Resting Membrane Potential)

세포가 외부 자극을 받지 않는 평상시 상태에서 세포막을 경계로 안쪽은 음(-), 바깥쪽은 양(+)의 전하를 띠며 전기적 평형을 유지하는 상태를 말한다. 보통 -70mV에서 -90mV의 전위차를 유지한다.

- **이온 농도 차이:** 세포 내부에는 칼륨(K⁺) 이온과 음전하를 띤 단백질이 풍부하고, 세포 외부에는 나트륨(Na⁺)과 염소(Cl⁻) 이온의 농도가 높다.
- **나트륨-칼륨 펌프:** 에너지를 소비하여 3개의 나트륨 이온을 밖으로 내보내고 2개의 칼륨 이온을 안으로 들여보냄으로써 전위차를 유지한다.

2) 활동전압 (Action Potential) 발생 과정

외부 자극이 세포막의 투과성을 변화시켜 발생하는 급격한 전위 변화 과정이다.

단계	주요 이온 이동 및 현상	막전압 변화
탈분극 (Depolarization)	나트륨 통로가 개방되어 외부의 Na ⁺ 가 세포 내로 급격히 유입된다.	부(-)에서 정(+)으로 상승
재분극 (Repolarization)	나트륨 통로가 닫히고 칼륨 통로가 열려 K ⁺ 가 세포 외로 유출된다.	다시 휴지 전위로 하강
과분극 (Hyperpolarization)	칼륨 통로가 서서히 닫히며 휴지 전위보다 더 낮은 전위까지 일시적으로 떨어진다.	휴지 전위 이하로 하강



2. 신경 및 근육의 흥분성 특성

1) 역치와 실무율

- **역치 (Threshold):** 활동전압을 유발하기 위해 필요한 최소한의 자극 강도이다.
- **실무율 (All-or-None Law):** 자극이 역치 미만이면 반응이 전혀 없고, 역치 이상이면 자극의 강도와 상관없이 항상 일정하고 최대치인 활동전압이 발생한다는 법칙이다.

2) 불응기 (Refractory Period)

한 번 흥분한 세포가 일정 시간 동안 다른 자극에 반응하지 않는 기간이다.

- **절대적 불응기:** 탈분극 시작부터 재분극 초기까지로, 어떤 강한 자극에도 반응하지 않는다.
- **상대적 불응기:** 재분극 후기 단계로, 평소 역치보다 더 강한 자극을 주면 흥분이 발생할 수 있다.

3) 순응과 적응

자극의 강도가 너무 느리게 증가하면 신경의 역치가 점차 높아져 흥분이 일어나지 않는 현상을 **순응(Accommodation)**이라고 한다. 이를 방지하기 위해 전기치료 시에는 맥동의 상승 시간이 짧은 파형을 주로 선택한다.

3. 시냅스 전도와 정보 전달

1) 시냅스후전위 (Post-Synaptic Potential)

신경 전달 물질에 의해 시냅스 후 세포막에서 발생하는 전위 변화이다.

- **흥분성 시냅스후전위 (EPSP):** 세포막을 탈분극시켜 활동전압 발생 가능성을 높인다.
- **억제성 시냅스후전위 (IPSP):** 세포막을 과분극시켜 흥분 발생을 억제한다.

2) 가중 현상 (Summation)

하나의 자극으로는 역치에 도달하지 못하더라도, 여러 자극이 합쳐져 활동전압을 유발하는 현상이다. 시간적으로 짧은 간격에 반복되는 '**시간적 가중**'과 여러 시냅스에서 동시에 자극이 오는 '**공간적 가중**'으로 나뉜다



제3장 전기진단

전기진단은 신경이나 근육의 전기적 반응을 측정하여 질환의 부위, 정도 및 예후를 판정하는 핵심적인 과정이다.

1. 변성반응검사 (Reaction of Degeneration, RD)

변성반응검사는 신경의 변성 여부를 판단하기 위해 **감응전류(Faradic current)**와 **단속직류(Interrupted DC)**를 사용한다.

- **완전변성:** 감응전류와 단속직류 모두에 근육이 반응하지 않거나, 단속직류에만 매우 느리고 벌레가 기어가는 듯한 수축(Worm-like contraction)을 보이는 상태이다.
- **부분변성:** 감응전류에는 반응이 감소하고, 단속직류에는 어느 정도 수축 반응이 유지되는 상태이다.

2. 강도-시간 곡선 (I-T Curve)

자극의 강도(Intensity)와 자극이 가해지는 기간(Duration) 사이의 관계를 그래프로 나타낸 것이다.

- **기전류 (Rheobase):** 자극 기간을 충분히 길게(보통 100ms 이상) 주었을 때 근수축을 일으키는 최소한의 전류 강도이다.
- **시치 (Chronaxie):** 기전류의 2배 강도로 자극을 줄 때 수축을 일으키는 데 필요한 최소 자극 기간이다.
 - **신경지배근:** 시치가 짧다(1ms 이하).
 - **탈신경근:** 시치가 매우 길다(10ms~100ms 이상). 시치가 길어질수록 신경의 변성 정도가 심함을 의미한다.

3. 전기적 변성 지표

- **직류 강축비 (Galvanic Tetanus Ratio):** 단속직류를 이용하여 연수축과 강축을 유발하는 전류량의 비율을 측정한다. 정상 근육은 약 4:1~6:1의 비율을 보이며, 탈신경근에서는 이 비율이 1:1에 가깝게 감소한다.
- **분극지수:** 정상 근육은 음극 폐쇄 자극 시 수축이 가장 강하게 나타나는 극성 공식을 따르나, 변성된 근육에서는 이 순서가 바뀐다.



제4장 직류전류 전기치료

직류전류(Galvanic Current)는 전류의 흐름 방향과 강도가 시간에 따라 변하지 않고 일정하게 유지되는 전류를 의미한다. 인체 조직에 적용했을 때 발생하는 물리화학적 반응을 치료에 이용한다.

1. 직류전류의 생리화학적 효과와 극성 효과

직류가 체액과 같은 전해질 내에 통전되면 이온의 이동과 함께 전극 아래에서 화학적 변화가 일어난다. 이는 조직의 상태를 변화시키는 핵심 기전이 된다.

구분	양극(Anode, +)	음극(Cathode, -)
화학적 반응	산성 반응 (HCl 생성)	알칼리성 반응 (NaOH 생성)
조직 변화	단백질 응고 및 조직 경화	단백질 용해 및 조직 연화
혈관 반응	혈관 수축 및 지혈 효과	혈관 확장 및 충혈 유도
신경 효과	흥분성 감소 (진정 작용)	흥분성 증가 (자극 작용)
발생 기체	산소 기체 발생	수소 기체 발생

- **전기삼투 및 전기영동:** 전하를 띤 입자가 반대 극성으로 이동하는 전기영동 현상과, 물 분자가 전하 입자와 함께 이동하는 전기삼투 현상을 통해 조직액의 순환과 대사에 영향을 미친다.

2. 이온도입법 (Iontophoresis)

이온도입법은 동일한 극성의 전하끼리 밀어내는 전기적 반발력을 이용하여, 수용성 약물 이온을 피부나 점막을 통해 심부 조직으로 침투시키는 방법이다.

1) 약물 선택과 극성 연결

약물의 효과를 극대화하기 위해서는 약물 자체의 이온 극성을 정확히 파악하여 동일한 극의 전극에 배치해야 한다.

- **음극(-) 연결 약물:** 초산(석회화 건염 용해), 살리실산(진통), 덱사메타손(항염증)
- **양극(+) 연결 약물:** 리도카인(국소 마취), 구리(항진균), 칼슘(근경련 완화), 히스타민(혈관 확장)

2) 장점과 주의사항

- 위장 장애 등 전신 부작용 없이 국소 부위에 고농도 약물을 직접 전달할 수 있다.
- **화학적 화상 주의:** 음극 아래에서 발생하는 강알칼리성 반응은 양극의 산성 반응보다 조직 손상 위험이 높으므로 전류 밀도를 낮게 유지해야 한다.



제5장 저주파전류 전기치료

저주파전류는 통상적으로 1~1,000Hz 사이의 주파수를 가진 전류를 의미하며, 주로 감각 신경 자극을 통한 통증 조절이나 운동 신경 자극을 통한 근수축 유발에 사용된다.

1. 저주파전류의 물리적 특성

저주파 치료 기기에서 출력되는 전류는 주로 맥동전류(Pulsed Current) 형태를 취하며, 다음과 같은 변수들에 의해 치료 효과가 결정된다.

- **파형의 형태:** 단상파, 이상파(대칭/비대칭), 다상파 등으로 구분된다.
- **주파수(Frequency):** 초당 맥동의 횟수로, 자극의 성격을 결정한다.
- **맥동 기간(Pulse Duration):** 자극이 유지되는 시간으로, 짧을수록 감각 자극에 유리하고 길수록 운동 자극에 유리하다.

2. 경피신경전기자극치료 (TENS)

통증 완화를 목적으로 피부 표면에 전극을 부착하여 감각 신경을 자극하는 방법이다.

1) 통증 조절 기전

- **관문 조절설:** 굵은 감각 신경(A-beta 섬유)을 자극하여 척수 후각에서의 통증 전달(C 섬유 등)을 차단한다.
- **내인성 오피오이드 분비:** 자극을 통해 엔돌핀이나 엔케팔린 같은 천연 진통 물질의 분비를 촉진한다.

2) 치료 모드 분류

- **고빈도-저강도(전통적 TENS):** 80~150Hz의 높은 주파수와 낮은 강도로 적용하며, 즉각적이지만 지속 시간은 짧은 통증 완화 효과를 제공한다.
- **저빈도-고강도(침술형 TENS):** 1~10Hz의 낮은 주파수와 근수축이 일어날 정도의 강한 강도로 적용하며, 엔돌핀 분비를 유도하여 효과가 늦게 나타나지만 오래 지속된다.



3. 기능적 전기자극 (FES)

중추신경계 손상(뇌졸중, 척수손상 등)으로 마비된 근육에 전기 자극을 가하여 기능적인 움직임을 생성하는 치료법이다.

- **임상 적용:** 발처짐(Foot drop) 방지를 위한 앞정강근 자극, 손목 처짐 방지를 위한 편근 자극, 어깨관절 아탈구 방지 등에 사용된다.
- **특징:** 단순한 근력 강화를 넘어 보행이나 일상생활 동작 수행 중에 타이밍에 맞춰 근육을 수축시킨다는 점에서 재활 가치가 높다.

4. 고전압맥동전류치료 (HVPC)

500V 이상의 높은 전압을 짧은 맥동 기간(짜정점 단상파)으로 적용하는 방식이다.

- **생리적 효과:** 피부 저항을 쉽게 극복하여 심부 조직까지 자극이 전달되며, 부종 감소 및 상처 치유 촉진에 효과를 보인다.
- **안전성:** 전압은 높지만 맥동 기간이 매우 짧아 평균 전류량이 낮으므로 화상 위험이 적다.



제6장 중주파전류 전기치료

중주파전류는 일반적으로 1,000~10,000Hz 사이의 주파수를 사용하는 전류를 의미한다. 저주파전류에 비해 피부 저항(임피던스)을 낮추어 통증 없이 심부 조직을 자극할 수 있다는 강력한 장점을 지닌다.

1. 간섭전류치료 (Interferential Current Therapy, ICT)

두 개 이상의 서로 다른 중주파 전류를 체내에서 교차시켰을 때 발생하는 '맥놀이(Beat)' 현상을 이용하는 치료법이다.

1) 간섭의 원리와 맥놀이 주파수

- **진폭 변조:** 서로 다른 주파수(예: 4,000Hz와 4,100Hz)가 만나면 두 주파수의 차이만큼인 맥놀이 주파수(100Hz)가 형성된다.
- **피부 저항의 감소:** 주파수가 높을수록 피부의 용량성 저항이 감소하므로, 낮은 강도로도 불편함 없이 심부 근육과 신경을 자극할 수 있다.

2) 전극 배치와 간섭장

- **4극 배치법:** 두 쌍의 전극을 대각선으로 교차하여 부착하면 그 중심부에 클로버 잎 모양의 최대 간섭 영역이 형성된다.
- **회전 간섭장:** 장비 내에서 전류 강도를 주기적으로 변화시켜 간섭 영역이 치료 부위 전체를 훑어내듯 회전하게 함으로써 치료 범위를 넓힌다.

2. 러시아전류치료 (Russian Current Therapy)

1970년대 러시아의 코츠(Kots)에 의해 개발된 방법으로, 주로 근력 강화와 근비대를 목적으로 사용된다.

- **물리적 특성:** 2,500Hz의 중주파 반송파를 사용하여 50Hz 정도의 주파수로 단속(Burst)시킨다.
- **치료 설정:** 보통 10초 자극 후 50초 휴식하는 '10/50 법칙'을 적용하여 근육의 피로를 최소화하면서 최대 수축을 유도한다.



제7장 고주파전류 전기치료

고주파전류는 100,000Hz 이상의 높은 주파수를 사용하며, 전류의 방향이 매우 빠르게 변하여 이온의 이동보다는 분자의 진동과 회전을 통한 '심부 열 발생'을 주 목적으로 한다.

1. 단파투열치료 (Shortwave Diathermy, SWD)

27.12MHz의 주파수를 주로 사용하며, 전자기장을 통해 신체 내부의 온도를 상승시킨다.

1) 적용 방법의 분류

적용 방식	주요 원리 및 특징	가열 부위
콘덴서 전계법	신체를 두 전극판 사이에 위치시켜 정전기장을 형성한다.	지방 조직(피하 지방)
유도 코일법	전선을 환부 주변에 감거나 드럼 형태로 배치하여 와전류를 유도한다.	전도성이 높은 근육 및 혈액

2) 임상적 금기사항

- 체내에 금속 물질(인공심박동기, 금속정 등)이 이식된 경우 열이 집중되어 화상을 입을 수 있으므로 절대 금기이다.
- 감각 마비 부위나 악성 종양 환자에게는 적용하지 않는다.



2. 극초단파투열치료 (Microwave Diathermy, MWD)

2,450MHz의 매우 높은 주파수를 사용하며, 안테나 역할을 하는 방사기(Director)를 통해 전자기파를 신체에 투사한다.

- **물리적 특성:** 빛과 유사한 성질을 가져 반사, 굴절, 흡수 현상이 일어난다.
- **주의사항:** 조직 경계면(피부와 공기, 지방과 근육 사이)에서 반사된 파가 입사파와 만나 강한 열을 발생시키는 '정재파(Standing wave)' 현상을 주의해야 한다. 남성의 고환이나 눈의 수정체(백내장 위험) 부위에는 직접 노출을 피해야 한다.

3. 초음파치료 (Ultrasound Therapy)

전기 에너지를 압전 효과를 통해 기계적 진동(음파)으로 변환하여 사용하는 치료법이다. 엄밀히는 음향 에너지이나 전기치료기기의 범주에서 함께 다룬다.

- **공동현상 (Cavitation):** 초음파의 압력 변화로 인해 조직액 내에 미세한 기포가 형성되고 소멸되는 현상으로, 세포막의 투과성을 높여 조직 치유를 돕는다.
- **비열 효과:** 맥동 초음파를 사용하면 열 발생은 억제하면서 세포 대사 촉진 및 부종 흡수 효과를 기대할 수 있다.