

## 이온도입법의 진통효과

울산과학대학  
김 성 학

### Effect of Iontophoresis with Analgesia

Kim, Seong-Hak, M.S., P.T.

Dept. of Physical Therapy, Ulsan Sciences College

#### 〈Abstract〉

This study was to determine whether iontophoresis application would produce analgesic effect for clinical practice. Physical therapist controls pain produced by various causes and plays a role improving functional disability. I studied varieties of pain theories, mechanisms and iontophoresis principles which need for physical therapist.

These were summarized as followings;

1. In the case of chronic patients, it is helpful to adapt iontophoresis treatment as well as generalized treatments which goals for pain release.
2. Iontophoresis treatment should be positively examined to control pains safely, efficiently without side-effects.
3. Iontoporesis treatment suggests the foundations that hormone or anaesthetics should be included in the range of medicines physical therapist can deal with.

#### I. 서 론

이온도입이란 연속직류전류를 이용해서 약물이온을 피부 또는 점막을 통해 신체내로 침투시켜 치료하는 방법이다.

Pivati(1748)가 전기를 이용해서 약물을 인체 내에 주입할 수 있다는 것을 제시한 이래 1948년 Veratti와 Bianchi등이 pivati의 주장을 입증한 후 1908년 Strphance Leduc이 화학물질이 직류전류에 의해 세포막을 통과 할 수 있다는 과학적인 이론으로 연구결과를 발표한 이래 물리치료의 한 방법으로 사용되어 지고 있다. 그 원리는 이온의 기전력

(electromotive force)의 영향하에 반대로 전하된 전극을 향하여 이동할 것이라는 사실에 기초를 두고 있다.

그리고 1946년 D Abramowitsch와 B Neuossikine가 새로운 기계, 약물, 방법을 사용한 이온도입치료의 목록을 제시하였다(이재형, 1992).

1971년 Amrein등이 미국의 302개 물리치료실을 대상으로 조사 한 바에 의하면 79곳에서 시행되고 있고 전체 환자의 5% 이상을 치료한 곳은 6군데에 불과하다. 우리나라의 이온도입치료는 아직까지 보고된 자료도 없고 극히 일부 의료 기관에서 시행되고 있는 것으로 알려지고 있고 의료보험의 미 급여와 치료기의 구입 저조, 그리고 시행상의 복잡함이 그 이유로 보여진다.

오늘날 이온도입치료는 물리치료실 뿐만 아니라 피부과, 이비인후과, 마취과, 비뇨기과, 안과등 여러 분야에서 이용되고 있고(Chein & Banga, 1989) 주사보다는 통증이나 불안감이 없고 위험성 및 부작용이 적으며, 경

구투여보다는 원하는 조직에 효율적으로 적용시킬 수 있어 임상적으로 적극적인 치료방법으로 권장되어진다고 사료된다(Costello & Jeske, 1995).

## II. 본 론

### 1. 이온도입의 원리

약물을 피부에 외용 했을 때는 각질층, 모낭, 피지선 등의 세공이 전기 임피던스가 높아서 전체적인 이용 이 동이 원활하지 못하고 농도 경사에 따라 피부의 주된 이 온 이동 통로인 땀샘관을 통해서 조직 내로 침투된다 (Prystowsky & Harber, 1994). 약물 이온이 조직을 통과하면서 조직 단백질 및 혈청 단백질과 결합하게 되어 침 투깊이가 제한된다. 또한 약물이온이 주위의 모세혈관에 의해 흡수되어 혈류를 타고 분산된다(Licht, 1967). 그러나 전리된 약물에 직류전류를 통전 시키면 약물이온이 전기적으로 활성화되어 조직 단백질 및 혈청 단백질과 결합 하지 않고 조직 내에서 지속적으로 이동하기 때문에 표 적조직까지 효율적의 도달하여 국소 부위에서 약리 작용 이 일어나게 된다(Spadaro & Becker, 1976).

이온도입치료에 의한 약물이온의 조직 내 침투깊이는 약물을 외용 하는 것 보다 더 깊이 침투되고 피하주사와 거의 비슷한 것으로 알려지고 있다(Chein & Banga, 1989).

이온도입에 의한 용량은 주사나 경구투여와는 달리 정 확히 산정하기가 어렵다. 이온도입에 의한 용량은 조직 의 이동한 이온의 양으로 결정되지만 표적조직에 도달하 는 과정에서 조직 또한 침전물과 화학적으로 결합하는지 여부, 모세혈관의 혈류를 타고 이동하는지 여부에 따로 다르다. 조직으로 침투하는 약물이물의 양은 전류의 강 도, 통전 시간, 약물이온의 전기 화학당량에 따라 결정되 므로 다음과 같은 공식으로 구할 수 있다(Behl et al, 1989 ; Kalia & Guy, 1995 ; Phipps et al, 1989)

$$I \times t \times ECE = \text{grams}$$

I는 전류의 강도(mA), t는 치료시간, ECE는 전기화 학당량이다.

### 2. 진통효과

국소 마취제에 의한 신경차단은 신경섬유의 종류 및

분포부위에 따라 다르다. 무수신경섬유(unmyelinated fiber)는 신경표면의 3~4mm가 국소 마취제에 접촉되어 야하고 유수신경섬유(myelinated fiber)에서는 적어도 3개의 Ranvier Node(5mm)를 차단해야 일어난다. 그러 나 상반신경총에서는 감각 신경섬유가 운동 신경섬유보 다 중심부에 있기 때문에 오히려 운동차단이 먼저 일 어 난다.

이온도입에 의한 마취깊이는 표면마취 보다 깊고 침윤 마취와 비슷하다. 마취 시간도 보통 15분 정도이고 이때 에피네프린(epinephrine)을 첨가하면 160분까지 침투 되기도 한다. 에피네프린은  $\alpha$  및  $\beta$  adrenergic수용체와 결합하여 혈관을 수축시켜 국소마취제가 혈류에 의한 국 소마취제의 분산을 막아 마취지속시간을 늘려준다. 희석 농도는 1:1,000~1:150,000이다.

국소마취용으로 주로 쓰이는 약제는 프로카인과 리도 카인이다. 프로카인은 주로 혈액에서 분리되기 때문에 중추신경계와 심맥관계에서 영향을 미치고 알레르기 반 응이 출현빈도가 높다. 리도카인은 주로 간에서 분해되 어 독성이 심하고 약물자체 보다는 대사산물에 의해 졸 음, 현기증과 같은 부작용의 발생빈도가 높다. 에피네프 린이 첨가된 국소마취제는 주로 심맥관계에 영향을 미쳐 혈당증가, 기관지확장, 심계 항진 등의 부작용이 생길 수 있다. 국소마취제와 덱사메타손(dexamethasone)을 혼 합하여 사용하는 법도 많이 사용하는데 이때의 비율은 2:1이다. 국소마취제가 2배의 용량으로 해서 홀몬 제재 의 과다를 조심해야 한다. 국소마취제의 가장 큰 문제점 은 용량과다(overdose)이다. 용량과다는 중추신경의 흥 분을 일으키고 불안, 진전(tremor), 경련(convulsion) 을 일으키다가 혼수(coma)로 이행되어 호흡마비로 사망 하게 된다. 이러한 문제는 혈관 내 투여, 특이체질은 소 량투여로도 일어날 수 있다.

이온도입에 흔히 사용하는 국소 마취제의 특성을 먼저 프로카인을 들수 있다. 프로카인은 화학적으로 안정되어 있으며, 수용성이고 100°C에서 30분간 자발 소독이 가 능하고 국소마취제의 중독성이 가장 적다. 또 혈관수축 작용도 없다. 또 리도카인을 들수 있다. 리도카인은 프로 카인에 비해 표면마취로 5배, 침윤마취로 2배, 독성은 1.5배이며 마취 지속시간도 약간 길다. 경쟁이온이 없 어야 약물의 이용이 효율적으로 조직에 침투된다. 용액에 이온농도가 최대이고 용매의 이용용도가 최대일 때 최대 의 이온도입 효과가 나타난다. 따라서 용매로 사용할 수 있는 가장 좋은 것은 탈이온 증류수를 사용하는 것이 바

람직하다(이재형등, 1997).

### 3. 통증생리

존스 홉킨스 대학 생리학 교수인 Mountcastle(1974)은 통증을 다음과 같이 간단하게 정의 하였다. "통증이란 조직에 손상을 일으키거나 조직을 파괴할 우려가 있는 자극에 의하여 유발되는 감각적 경험이다"라고 정의 하였다.

통증은 물리치료와 관련된 환자들이 직면하는 가장 공통적인 문제점 중에 하나이며, 신체적, 생리적 그리고 심리적 장애를 동반한다(Mannheimer와 Lampe, 1984). 또한 이것은 조직손상이나 상처 발생을 알려주는 역할을 하며(Sherrington, 1906), 근육 경축(muscle spasm), 근육 약화, 관절가동범위의 감소, 피로, 불면증, 불안, 우울증, 성적 장애, 정서 장애 등과 같은 증상의 결과로 발생될 수 있다(Bonica, 1990).

국제통증학회(International Association for the Study of Pain)는 "통증이란 잠재적이거나 실제적인 조직 손상시 수반하는 불쾌한 감각 및 정서경험"이라고 정의 하였다(Bowsher, 1988). 통증경험의 감각요소는 말초 수용기의 흥분에 의존하는데, 조직손상이나 피사에 의한 반응을, 구심성 자극을 통해 척수로 전달하며 중추 신경계에서 이러한 정보들을 처리한다.

지속적인 골격근 수축은 통증을 유발한다. 허혈은 심장근에 있어 가장 중요한 통증의 원인이다. 관절은 찢르고, 자르고, 소작하는 등의 자극에 대하여는 민감하지 않으나 염증이거나 고농도의 식염수에 노출될 때 윤활막에서 유발된다. 골막(periosteum)의 손상은 통증을 유발하나 다른 감각을 유발하지는 않는다. 동맥은 바늘로 관통하거나 염증이 있을 때 통증을 유발한다. 신경계 내의 병변에 의한 통증은 신경초(nerve sheath)에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다. 신경근(nerve root)은 추간판의 파열에서와 같이 압박을 받을 때 통증이 발생된다(Adams et al, 1997).

전통적으로 통각인식이론에는 특이성이론과 집중이론이라는 두 가지가 있다. 첫째, 특이성이론은 통각이 피부에 특정 말초감각기에 의해 뇌로 연결되어 있는 것이다. 둘째, 집중이론은 종류에 상관없는 강한 자극에 의해 통각이 유발된다는 것이다. 이는 통각에 대한 감각수용기는 존재하지 않으며 온도각, 압각 자극의 합에 의한다는 것이다.

최근의 통각의 해부학과 생리학적 연구는 이 두 관점을 모두 만족시키고 있다. 말단부위의 통각기전에 의하면 척수의 등쪽뿌리로 가는 유해한 자극과 관련된 감각정보를 전달하는 두 종류의 가는 구심성 섬유가 존재한다. 하나는 매우 미세하고 수초화 되어 있지 않고 전달속도가 느린 C-fiber이고, 다른 하나는 얇게 수초화 되어 있으면서 보다 빠른 전달속도를 보이는 A-fiber이다. C-fiber는 기계적 자극, 열자극(44 C이상), 화학적 자극등 여러 가지 유해수준의 자극에 반응하는 다양상유해수용기(polymodal nociceptors)로써 실질적인 조직손상을 알리는 통증을 전달한다. 또한 히스타민(histamine), 브레디키닌(bradykinin)과 같은 화학적 매개물질과도 반응하며 이는 조직 손상에 대한 반응으로 분비된다. A-fiber는 가벼운촉각, 온도각, 압각, 통각자극에 반응을 보이며 이와 관련된 대부분의 감각은 날카롭거나 찢르는 듯하다. 또한 자극의 성질, 부위까지도 전달하는 것으로 보인다. C-fiber, A-fiber 모두가 유해하지 않는 감각정보를 전달하기도 한다. 말초의 통각구심섬유인 A-fiber와 C-fiber의 세포체는 dorsal root ganglia 외측에 위치하고 가장 가느다란 섬유인 C-fiber는 대부분 뚜렷한 다발(Lissauer's tract)을 형성한다.

척수의 회색질은 해부학적으로 10개의 층판으로 나눌 수 있고 이들 층판은 말초로부터의 다양한 입력을 받아 수많은 정보를 고위중추로 전달하고, 중요한 신경간의 소통은 각 층판 안에서 일어난다. 제2층판은 안쪽지대와 바깥지대로 나누어지는데 안쪽은 낮은 역치의 A-fiber의 기계적수용기로부터 정보를 받고, 바깥쪽은 높은 역치의 열적유해수용기와 연결된 C-fiber로부터 정보를 받는다. 또한 다른 C-fiber와 A fiber의 입력은 제2층판에서 신경연접을 이룬 후, 신경원의 흥분의 결과로 인한 제2층판세포의 활성화는 고위중추로 통각을 전달하게 된다. 여기서 제2층판의 substantia gelatino는 gate control theory에서 중요한 역할을 하게 된다.

최근 발표에 의하면 배각과 뇌각에서의 통각신호의 전달양식과 조절에 있어서 흥분성 아미노산(glutamate와 aspartate)과 ATP와 같은 뉴클레오티드가 일차적 A 구심성 섬유의 말단에서의 신경전달물질로 추정되고 있다. substance P는 유해자극수용성 배측근 신경절과 배각의 신경세포를 흥분하게 하는 것으로 보인다. 반대로 substance P를 파괴하게 되면 무통각이 발생하게 된다. 아편제제들이 배각, 연수, 그리고 뇌교의 중추로 연결되는 통각신호의 중요한 조절물질이라는 많은 증거들이 존

제하며 아편제제들은 substance P를 감소시키고 동시에 분절성 통증에 의해 유발되는 굴곡성 척수반사를 감소시킨다. 아편물질수용체는 전 연접부의 일차적 구심성 유 말단과 제2층판에 있는 작은 후 연접 수상돌기에 세 가지의 형태가 발견되었다. 제2층판의 신경세포가 활성화 되면 enkephalin이나 dynorphin을 방출하는데 이들은 내인성 물핀 유사펩티드로 아편성수용체와 특이적으로 결합하여 배각에서의 통각전달을 저하시킨다.

통각과 관련된 이차적 신경세포는 척수회색질의 I, II, V, VII, VIII층에서 유래한다. 주된 다발은 척수의 전방교차연결을 통하여 교차하고 반대측의 전의척수를 거쳐서 뇌간과 시상으로 올라간다. 개개의 피부절의 축삭은 척수로 들어온 부위보다 1~3개 정도의 높은 분절로 교차한다. 통각의 구심로에는 두 개의 주요한 경로가 존재하는데 spinothalamic tract과 spino-reticulo-thalamic tract이 그것이다. spinothalamic tract은 직접적으로 시상까지 투사되는 경로를 말하며, spino-reticulo-thalamic tract은 중내, 연수의 망상체를 중심으로 직접 투사하거나, 짧은 중간신경절을 통해 상행하여 시상하부, 변연계, 중뇌등에 투사하게 되는데 이는 통각이 자율신경, 감정, 인지 등에 의해 영향을 받는다는 사실을 말해준다. 또 척수망상섬유체계는 심부 구조물로부터 발생하는 위치가 불명확한 통각이 전달되는 경로라고 생각되어진다. 외측 또는 신척수 시상로(neospinothalamic pathway)는 유해자극의 위치, 성질, 강도와 같은 통각의 분별적인 측면에 기여한다(김종만, 2000).

#### 4. 통증 이론

어떤 자극이 이를 수용하는 감각수용기를 흥분시키면 여기에 연결되어 있는 신경원과 이신경원 연접을 이루는 신경원은 최종적으로 대뇌피질의 일차감각피질에 도달하게 된다. 이때 하나의 신경로는 오직 한종류의 감각(sensory modality)만을 전달한다는 생각은 Muller(1840)의 '특수 에너지 법칙(law of the specific nerve energy)'이다. 이후 Von Frey(1894)는 피부감각의 기본적인 4 가지 감각 즉, 통각, 온각, 촉각, 냉각을 전달하는 감각 수용기들과 신경로가 있다는 특이설(specificity theory)을 발표하였다. 유해자극에 대해서만 반응하는 유해자극 수용기(nociceptor)의 실체가 확인되고, 중추신경계 내에 유해자극에 대해서만 반응하는(nociceptive - specific) 신경세포들이 발견되면서

지난 30년 간은 통각도 하나의 전형적인 감각으로 간주하는 특이설이 더 설득력이 있는 것처럼 생각되었다.

Melzack과 Wall(1965)이 발표한 '관문조절설(gate control theory)'에 의하면, 통각의 지각이 척수 등쪽뿌에 있는 통증전달세포(pain transmission cells: T cell)의 흥분에 의해 일어나고, 이것은 굵은 구심성 섬유(A $\alpha$ 와 A $\beta$ )와 가는 구심성 섬유(A $\delta$ 와 C)의 상대적인 활성에 의해서 영향을 받는다고 제안하였다. 굵은 섬유와 가는 섬유 모두가 흥분되면 직접적으로 통증전달세포(T cell)를 흥분시킨다. 제 II층판에 있는 교양질의 세포는 이들 구심성 섬유들이 통증전달세포와 연접을 이루기 이전에 억제력을 하는 연접이전 억제(presynaptic inhibition)를 이룬다. 굵은 섬유의 결가지는 교양질 세포를 활성화시켜 연접이전 억제를 일으킴으로서(관문 닫음) 통증전달을 억제한다. 반대로, 가는 섬유의 결가지는 교양질 세포를 억제하여 연접이전 억제의 기능을 감소시킴으로서(관문 열림) 통증전달세포를 통해 통증지각을 증가시킨다.

1970년대 초에 개발된 경피신경 전기자극(TENS)은 부드러운 촉각을 주어 선택적으로 굵은 섬유의 입력을 증가시킴으로서 통증전달세포(T cell)의 연접이전 억제를 촉진시켜 의식적인 통증의 지각을 감소시켰다. 예로, 경피신경 전기자극은 굵은 구심성 신경섬유의 변성이 일어나는 포진후신경통(postherpetic neuralgia)에서 발생하는 통증을 효과적으로 감소시켰다. 굵은 신경섬유가 손상되지 않은 포진후 신경통 환자에서 분절적으로 관련된 부위나 통증이 있는 부위에 전통적인 경피신경 전기자극(conventional TENS; 고빈도-저강도 경피신경자극)을 적용했을 때 병적으로 손상된 가는 신경섬유의 근접부위에 있는 굵은 신경섬유를 활성화 시킴으로서 포진 후 신경통으로 인한 통증을 효과적으로 감소시킬 수 있었다. 맛사지나 진동(vibration)과 같은 통증치료방법도 이 이론에 의해 설명될 수 있다. 관문조절설은 첫째, 가는 섬유를 선택적으로 파괴했을 때에도 다양한 통증상태가 지각된다는 것; 둘째, 의식적인 통증의 지각에 대한 고위중추의 역할이 고려되지 않은 것에 대한 비판을 받았다. 고위중추의 변연계와 그물형성체(reticular system)가 통증의 지각, 정서의 감정적인 단계 그리고 운동반응에 영향을 미친다는 사실을 추가하여 개정안을 내놓았다. 신피질(neocortex)에 있는 고위중추는 과거의 경험과 학습된 반응들과 비교해서 말초로부터 들어오는 통각을 조절한다. 고위중추로 들어오는 입력에 의해

활성되는 중추조절 방아쇠(central control trigger)는 내립신경로를 통해 등쪽팔에 영향을 미침으로써 통증조절에 관여한다(Melzack & Casey, 1968).

통증조절에 대한 또 다른 이론은 뇌를 자극시킴으로써 엔돌핀과 엔케팔린과 같은 내재성 아편물질을 분비하여 통증을 억제하는 자극유발 진통작용(stimulation-produced analgesia)이 밝혀졌다(Reynolds, 1969). Fields와 Basbaum(1989)는 저빈도-고강도 침형 경피신경자극(acupuncture-like TENS)을 적용하였을 때 나타나는 진통작용을 고려하기 위해 음성 피드백 고리(negative feedback loop) 기전을 제안하였다. 이들 연구자들은 침형 경피신경자극시의 유해한 자극이 옴스신 경로를 흥분시켜 통증 지각을 유발한다고 제안하였다.

통증 감수성(sensitivity)과 자율신경 기능의 조절에 대한 신경생리학적 기전이 어느 정도 밝혀졌다(Anderson, 1993). 강력한 근육 수축에 의한 운동감각 수용기(stretch receptors 또는 ergoreceptors)의 활성화나 이들 중심성 신경에 대한 전기자극이나 기계적 자극(침)은 음성 피드백(negative feedback)에 의해 의식적인 통증전달을 억제하는 시상하부와 뇌졸기 수준에서의 하행성 신경로를 활성화시킨다. 침에 의한 통증 완화는 날록손(naloxane)에 의해 반전되는 것이 발견되었는데, 이것은 통증 완화가 하행성으로 억제 작용을 하는 엔케팔린성 신경로에 의한 것임을 입증한다. 그러나 정상인을 대상으로 한 실험에서는 침이 통증 역치를 증가시키지 못하였고, 단지 부분적으로 증가 시켰는데, 이것은 통증 신경로의 자극에 의해서 일어나는 것으로 볼 수 있다. 지속적인 달리기 운동을 시킨 토끼에서 통증 역치는 증가하였는데, 이것은 저주파 경피신경 전기자극을 적용한 이후 발생하는 통증 역치 상승과 비슷한 기전이다. 장딴지근의 자극은 통증 역치를 상승시키고 혈압을 장시간 감소시켰다. 잘 계획된 조깅 운동이나 자전거 타기 운동은 근육 수축을 일으키기 충분한 강도에서의 저주파 자극과 마찬가지로 통증 역치를 증가시키는 것으로 나타났다. 아편제 길항제인 적은 양의 날록손은 통증역치를 감소시켰는데, 이것은 비엔돌핀 조절기전도 기여하는 것으로 볼 수 있다. 달리는 활동 정도에 따른 비교에서, 장거리 달리기 선수들의 혈장에서  $\beta$ -엔돌핀의 양이 증가되었다. 이러한 연구들에서 볼 때 통증이 있는 환자들에서 통증으로 인해 장기간 침상고정이나 부동보다는 능동적인 근육운동을 하는 것이 통증관리에 더 효과적이라고 볼 수 있다. 통증 환자의 재활에 있어서 근육훈련 프로그램

을 통해 환자를 신체적, 정신적으로 자극하는 것은 매우 중요하다. 또한 수의적인 움직임을 실행하는 피질척수로(corticospinal tract)중 일차체감각 피질영역에서 기시하는 신경세포들은 곁가지들을 뇌졸기의 청색반점핵(nucleus ceruleus)과 큰술기핵(nucleus raphe magnus)에게 주어 척수의 등쪽팔로 들어오는 유해감각 전달을 억제하도록 한다. 이것은 통증질환자가 수의적인 운동을 할수록 통증을 완화시킬 수 있다는 것을 보여 준다(김종만, 2000).

미국의 AHCPR(Agency for Health Care Policy and Research)에서는 요통환자들의 침상안정을 2-4일 이내로 해야하며, 장기간의 안정은 근육이나 뼈를 악화시키고 회복을 지연시킴으로 피하여야 한다고 하였다(Stanley et al, 1995). 조기에 보행, 고정 자전거 타기, 수영과 같은 저강도 유산소 운동(aerobic exercise)은 비활동으로 인한 불임점을 예방할 수 있다. 요추 신전운동(back extension exercise)을 강조하는 몸통 근육 운동은 초기에 통증을 지속시키거나 유발시킬 수 있지만 점차적으로 증가시켜야 한다. 그러나 급성 통증 초기에 몸통 굴곡운동을 강조하는 신장운동(stretching exercise)은 도움을 주지 못한다. 전통적으로 급성 요통 환자에게 장기간의 절대 침상안정을 처방하였으나 최근 연구 결과는 단 기간의 안정이후 유산소 운동과 몸통 신전운동을 점차적으로 증가시키는 것이 회복에 도움된다는 것을 강조한다(stanley et al, 1995).

### Ⅲ. 결 론

물리치료사는 다양한 원인으로 인해 발생하는 통증을 치료하며, 통증으로 인해 발생하는 기능장애를 회복시키는 역할을 한다. 이 글에서는 물리치료를 하는데 있어서 필요한 다양한 통증 이론, 기전 및 이온도입 치료원리에 대해서 알아보았는데 요약하면 다음과 같다. 첫째, 만성 통증질환자의 경우는 기존의 통증감소에 목표를 둔 일반적인 치료방법뿐만 아니라 이온도입치료를 적용하는 것이 도움이 된다. 둘째, 통증을 효율적이고 부작용 없이 안전하게 조절하는데 이온도입치료의 적극적인 검토가 있어야 하겠다. 셋째, 이온도입치료는 물리치료가 사용할 수 있는 약품의 범위에 홀몬제나 마취제가 들어갈 수 있다는 근거를 제시한다.

## 〈 참고 문헌 〉

- 김종만 : 신경해부생리학, 정담, 2000.
- 이재형, 송인영, 국지연 : 전극배치가 Procain 이온도입에 미치는영향, 대한물리치료학회지 4(2) : 39-43, 1997.
- 이재형 : 전기치료학, 대학서림, 1992.
- Adams RD, Victor M, Ropper AH. Principles of Neurology, McGraw-Hill Book Co., 1997.
- Andersoon S. The functional background in acupuncture effects, Scand J Rehab Med, Suppl 29 : 31-60, 1993.
- Bhel CR, Kumar S, Malick AW, DelTerzo S, Higuchi WI, Nash RA. Iontoporetic drug delivery : Effects of physicochemical factors on the skin uptake of nonpeptide drugs, J Pharm Sci 78(5) : 355-360, 1989.
- Bonica JJ. The Management of Pain, 2nd ed, Lea & Febiger, Malvern, 1990.
- Bowsher D. Acute and chronic pain and assessment, In: Wells PE, et al, eds, Pain Management in Physical Therapy, East Norwalk, Appleton & Lange, 11-17, 1988.
- Chein YW, Banga AK. Iontophoretic transdermal delivery of drugs : overview of historical development. J Pharm Sci 78(5) : 353-354, 1989.
- Costello CT, Jeske AH. Iontophoresis application in transdermal medication delivery, Phys Ther 75(6) : 554-563, 1995.
- Fields HL, Basbaum AI. Endogenous pain control mechanisms. In: Wall PD, Melzack R (eds) . , Text of Pain. Churchill Livingstone, Edinburg, 1989.
- Kalia YN, Guy RH. The electrical characteristics of human skin in vivo, Pharm Res 12(11) : 1605-1613, 1995.
- Licht S. History of electrotherapy. In Licht S.(ed). Therapeutic electricity and ultraviolet radiation, Elizabeth Licht Publisher. New Haven Coun. p.16-27, 1967.
- Mannheimer JS, Lampe GN. Clinical Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation. FA Davis, Philadelphia, 1984.
- Melzack R, Casey KL. Sensory, motivational, and central control determinants of pain. In Kenshalo DR, ed. The Skin Senses. Springfield, Ill. Charles C Thomas Publisher, 423-443, 1968.
- Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: A new theory. Science 150 : 971-979, 1965.
- Mountcastle VB. Pain and temperature sensitivities. Mosbyst. Louis. Mountcastle Medical Physiology 1 : 348-381, 1974.
- Muller J. Handbuch der Physiologie des Menschen, Vol 2, Berlin p 249, 1840.
- Phipps JB, Padmanabhan RV, Lattin GA. Iontoporetic delivery of model inorganic and drug ions, J Pharm Sic 78(5) : 365-369, 1989.
- Piviti M. Remarks on the medical efficacy of electricity, J Electro Med 1 : 21-26, 1748.
- Prystowsky JH, Harber LC. Physiology of Skin. In The Physiological Basis of Rehabilitation. Downey JA et al (ed), 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, London, p.203-205, 1994.
- Reynolds DV. Surgery in the rat during electrical analgesia by focal brain stimulation, Science 164 : 444-445, 1967.
- Sherrington CS. The Integrative Action of the Nervous System. Scribner, New York, 1906.
- Spadaro JA, Becker RO. Some specific cellular effects of electrically injected silver and gold ions, Bioelectrochem and Bioenerget 3 : 46-57, 1976.
- Stanley J, Bigos MD, Richard A, et al. The new thinking on low back pain. Patient Care, 15 : 140-173, 1995.
- Von Frey YM. Beitrage zur Physiologica des Schmerzsinnns, Berlin Koenigl Saeachs Ges Wiss 46 : 185, 1894.