

## Elektrofizyolojinin Tarihsel Serüveni: Galvani Öncesi Dönem\*

### Historical Perspective on Early Electrophysiology: Pre-Galvani Period

Erhan Kızıltan<sup>i</sup>, Nizamettin Dalkılıç<sup>ii</sup>

<sup>i</sup>Prof.Dr., Başkent Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, <https://orcid.org/0000-0001-6029-3835>

<sup>ii</sup>Prof.Dr., Başkent Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, <https://orcid.org/0000-0002-2306-4467>

#### ÖZ

Bu çalışmada, bilim tarihinin ve tarihçilerinin her zaman ilgisini çeken “canlı elektriği” ve günümüz “elektrofizyoloji” özel bilim alanının gelişim süreci konu edinilmiştir. Yaşamın kaynağını araştıran dönemin bilim insanlarının rastlantısal gözlemlerinden ziyade, her buluş için söylendiği gibi sadece bir “hayal” ile başlayan bu zorlu sürecin hikayesi tarihsel bir bakış açısı ile sunulmuştur. Çalışma, “elektrik olay” ile “yaşam enerjisi”ni ilişkilendiren köşe taşı niteliğindeki çalışmaları ile yeni bir dönemi başlatan Luigi Galvani’ye kadar olan dönemi kapsamaktadır. Bu çerçevede, Galvani öncesi dönemdeki “elektrik” ve “canlı elektriği” kavramlarındaki gelişim süreçleri ile elektrik-canlı organizma etkileşimleri ele alınmıştır.

Tatlı su ve deniz canlıları üzerinde yapılmış gözlemler neticesinde Mısır, Antik Yunan, Roma, Uzak Doğu, Güney Amerika ve İslam coğrafyasındaki medeniyetlerde de elektrik olay ile ilgili farkındalığın oluştuğu, bu dönemlerde de elektriğin canlı ile etkileşiminin sınırları ve hatta tedavi amaçlı olarak kullanılmış olduğu tartışılmıştır. Yine bu süreçte, diğer doğa bilimlerindeki gelişmelerin canlı elektriği kavramının gelişmesine yaptığı katkılar konu edilmiştir. Bu katkılar sonrasında, canlıda elektrik olayının doğasının anlaşılması amacı ile ortaya atılan sinirde “uyarılabilirlik” ve “iletim” teorileri ve nihayet canlıların da “içsel elektrik”e sahip olabileceği ya da üretebileceği sonucuna götüren süreçler tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Canlı Elektriği, Elektrofizyoloji, Elektrik Balığı, Galvani, Volta

#### ABSTRACT

In this study, "animal electricity" and the historical development of "electrophysiology" which have always attracted the attention of the history of science as a special multidisciplinary field, have been discussed. In this context, from the ancient ages to the time of Luigi Galvani the development of the concepts of "electricity" and "animal electricity" have been discussed. With this perspective, the early experiences on "electricity-living organism" interactions up to the time of Galvani who is the starter of the new era with his famous frog experiments relating the "origin of life" with "electricity" have been reviewed.

It was proved by many observations made by Ancient Egypt, Greek, Roman, Far East, South America and some other civilizations in Islamic geography on various kind of fishes that the world is already aware of the interaction of electric phenomenon with living organisms and even the use of electricity for treatment purposes. The developments in other fields of natural sciences during this course of time that had impacts on developing the theory of animal electricity have also been emphasized in this study. As a result of these contributions, the proposed theories and related debates such as "excitability" and "conduction" in nervous system and "internal electricity" in living organisms as the origin of life have been discussed.

**Keywords:** Animal Electricity, Electrophysiology, Electric Fish, Galvani, Volta

\* Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 2021; 11 (3): 429-440

DOI: 10.31020/mutfd.966437

e-ISSN: 1309-8004, ISSN 1309-761X

Geliş Tarihi – Received: 8 Temmuz 2021; Kabul Tarihi - Accepted: 20 Ağustos 2021

İletişim - Correspondence Author: Erhan Kızıltan <erhankiziltan@gmail.com>

## Giriş

Canlıda yaşamın kaynağı araştırılırken ulaşılan “canlı elektriği” (animal electricity) kavramı, bilim tarihinin ve tarihçilerinin her zaman ilgisini çeken ve günümüz “elektrofizyoloji” özel bilim alanının köşe taşı olan heyecanlı bir serüvenin dönüm noktasında yer almaktadır. Günümüzde, en azından hücre düzeyinde yaşamın kaynağı ile ilgili yaptığımız değerlendirmelerde termodinamik yaklaşımla aktardığımız “elektrokimyasal denge” kavramı, binlerce yıl süren meraklı, inatçı ve cesur bir mücadelenin ürünüdür. Bugün artık kanıksadığımız çoğu buluş için olduğu gibi elektrofizyoloji de rastlantısal gözlemlerden ziyade, sadece bir “haya” ile başlayan zorlu bir sürecin hikayesidir.

Canlı elektriği kavramının çığır açan bir kıvılcım haline dönüşmesinde, Luigi Galvani’nin (Latince: Aloysii Galvani; 1737-1798) inatçı ve sabırlı çalışmalarının yanı sıra Alessandro Volta (1745-1827) ile girdiği bilimsel rekabetinin önemi büyüktür. O nedenle, elektrofizyolojiyi tarihi perspektiften değerlendirirken, Galvani’yi merkeze alan ve fakat diğer bilim insanlarının katkılarını göz ardı etmeyen bir kronoloji tasarlamak çok ta yanlış olmayacaktır. Bu bakış açısıyla bu çalışmada, Galvani öncesi döneme kadar elektrofizyolojinin gelişmesine katkı yapan gözlemler, deneyimler, buluşlar ve bilim insanları konu edilmiştir.

Galvani öncesi dönem Mısır, Antik Yunan, Roma, Uzakdoğu, Güney Amerika ve İslam coğrafyalarındaki medeniyetlerin elektrik olayın varlığı ve canlı ile etkileşimi üzerine bilgi birikimlerini kapsamaktadır. Bu dönemde de canlıların elektrik üretebildiği ve bazı hastalıkların tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. Canlı elektriği kavramının, Rönesans aydınlanmasıyla değişen bilimsel çalışma sistematığının etkisi ile özellikle XVIII. yüzyılın başlarından itibaren nitelik ve nicelik olarak farklılaştığı gözlenmektedir. Eşzamanlı olarak, diğer doğa bilimlerindeki gelişmeler de canlı elektriği alanındaki çalışmaları hızlandırmış ve bu kavramın temelinde yatan gerçeklerin anlaşılmasına çok önemli katkılar yapmıştır.

Yüzyıllar süren çok değerli çabaların ürünü olan ve bir açıdan da modern tıbbın üzerinde yükseldiği “elektrofizyoloji” kavramı günümüzde, hiç olmadığı kadar popülerleşmiş ve etkin bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir.<sup>1</sup> Canlı elektriği kavramının zamanla “elektrofizyoloji”ye evrilmesinde, XX. yüzyıla kadar bilimin hemen her alanında uzmanlaşmış bilim insanlarının (polymath) biyoloji, fizik, kimya, matematik ve hatta felsefe alanlarında yaptıkları katkıları göz ardı etmeden haklarını teslim etmek gerekir.

Aslında bu süreçte ulaşılan müthiş bilgi birikiminin ve geliştirilen yöntemlerin arka planında, yüzyıllar süren özverili çalışmalarıyla hiçbir zaman pes etmeyen polymath bilim insanlarının öyküsü gizlidir. Bu öyküyü ve bu öykünün inşasında inatçı kişilikleri ile rol alan mimarları hatırlamanın ve onurlandırmanın, bilimin daha da sağlam temeller üzerinde yükselmesine yardımcı olacağı açıktır.

## Doğa Bilimlerinin Gelişim Süreci ve Elektrik

Canlı organizmalarının fonksiyonlarını neden-sonuç ilişkisi içerisinde inceleyen bir bilim alanı olan fizyolojinin, özellikle canlıda elektrik olayı ve uygulamalarını konu alan bir alt dalı bugün elektrofizyoloji olarak adlandırılmaktadır. Elektrofizyolojinin tarihsel gelişimi, kuşkusuz ki elektriksel ölçü ve kayıt araçlarının gelişim süreciyle eşzamanlıdır.<sup>2</sup>

Bilim ve sanatın birçok öyküsünde olduğu gibi, bu öykünün de dönüm noktasında “bilgelik”in hüküm sürdüğü Orta Çağ’dan akıl ve bilimin egemen olduğu “bilgi” çağına geçişi görmekteyiz.<sup>3</sup> Özellikle bilim alanında doğaya ait yeni ve güvenilir bilgilerin üretilmesi ile birlikte bu bilgilerin yaygınlaşmasını sağlayan Rönesans felsefesinin akılcı düşüncüyü önceleyen düşünsel gelişiminin, XVIII. yüzyıl bilimsel devrimine büyük katkı sağladığı bir gerçektir.<sup>3</sup> Bu felsefi sürecin, René Descartes’ın (1596-1650) “şüphe etme”, “düşünme” ve “var olma” arasındaki ilişkiyi tanımlamasıyla başladığına inanılmaktadır. Bu süreçte, adını tarihe altın harflerle kazıyan inatçı bir kişiliğe sahip Isaac Newton (1643-1727), tabiat olaylarını sebep-sonuç ilişkileri içerisinde

değerlendirerek evrenin belirli yasalarla idare edildiğini göstermiş ve rasyonel düşüncenin önünü açarak diğer bilimlere de örnek oluşturmuştur. Benzer şekilde, Baron de Montesquieu (1689-1775) siyasette güçlerin ayrılığı teorisiyle; Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) toplum, özgürlükler, din ve eğitim konularındaki görüşleriyle; Immanuel Kant (1724-1804) ise ahlak ve hukuk felsefesi üzerine inşa ettiği ve “duyguların da akıl kadar önemli olduğunu” vurguladığı sonsuz barış düşüncesiyle, insanlığın her yönüyle uyanışına öncülük etmişlerdir. Yine, modern kimyanın kurucusu Antoine Lavoisier'nin (1743-1794) çalışmalarına hâkim olan “doğrudan deney ve gözleme dayanan bilgiye önem veren” düşünce biçiminin bilime önemli katkıları olmuştur.<sup>3,4,5</sup>

Bu yeni dünya görüşünün temsilcileri, XVIII. yüzyıl boyunca doğa ve canlıların işleyişlerini izah etmek için çalışmaların, bilgi çağının avadanlıkları olan akıl ve bilim üzerine yapılandırılmasında ısrarlarını sürdürmüşlerdir. Aynı dönemde, tıp ve biyolojinin temsilcilerinin de deneysel deneme-yanılma uygulamalarını bilimsel bilgi üretim yöntemi olarak kullanmaya başladığına şahit olmaktayız. Yüzyılın sonlarına doğru bir hekim olan Luigi Galvani, fizik ve kimya alanlarındaki gelişmelerin katkılarıyla kuşkusuz, “elektrik olay” ile “yaşam enerjisi”ni ilişkilendiren köşe taşı niteliğindeki çalışmaları ile canlı elektriği konusunda yeni bir dönemi başlatacaktır (**Şekil 1**).<sup>6</sup> Öyle ki, Galvani sonrası dönemde, aslında çok eski olan “yaşam nedir?” sorusunun cevabı için de yeni ve provokatif araçların geliştirilmesine de öncülük edecektir.



Şekil 1. Deney düzeneği ile birlikte resmedilen “Bolonya’lı bilim insanı” Luigi Galvani (1737-1798) portresi.<sup>6</sup>

Benzer deneyleri tekrarlayıp farklı yorum ve eleştiriler getiren çağdaşı Alessandro Volta'nın, Galvani üzerindeki motive edici etkisine de önem atfedilmektedir. Ancak, biyoelektrisite tarihi perspektiften değerlendirilirken, modern fizik ve fizyolojiye önemli katkıları olan diğer bilimsel şahsiyetlerin göz ardı edilerek, tartışmanın sadece Galvani'nin katkıları ve/veya sadece “Galvani-Volta rekabeti” üzerinden sürdürülmesi, itirazları da beraberinde getirmiştir.<sup>1,7,8</sup> Kas kasılmasının elektriksel boyutunu ilk kez ortaya koyan ya da bu konuda çalışma yapan tek kişinin Galvani olmadığı açıktır. Ancak Galvani'nin, günümüz bilimsel bilgi birikiminin oluşmasındaki rastlantısal ve inatçı bilimsel faaliyetleri ve önermeleri nedeniyle saygı duyulmayı da özellikle hak ettiği önemle vurgulanmaktadır.<sup>7</sup> Galvani'nin başarısındaki esas sürdürücü gücün Volta olduğuna dair iddialara ve Galvani'nin ölümünden sonra Volta'nın ulaştığı belki de daha büyük bir başarıya rağmen, Galvani'nin başarısının gölgelenemediğine de inanılmaktadır.<sup>9</sup>

İngiliz şair ve ressam William H. Blake'in (1757-1827) ünlü sözüyle (“*What is now proved was once only imagin'd*”) dikkat çektiği üzere, aslında her şey bir hayal ile başlamaktadır. Hayal etmek tabii ki önemlidir ancak, tek başına yeterli değildir. Bazı bilim insanlarının rastlantısal gözlemleri için, bazı anlatımlarda da ifade

edildiği gibi “şansın yüzüne gülmesi” gerekmektedir.<sup>8</sup> Louis Pasteur’ün (1822-1895), neredeyse yüz yıl sonrasında, Galvani için söylediği gibi “şans, herkesin karşına çıkabilmekle birlikte sadece iyi eğitilmiş ve şans değerlendirebilecek donanıma sahip bireyler (prepared mined) için anlamlı” olabilirdi.<sup>10</sup> Aksi halde, Newton’un “başına düşen elma” efsanesinde de olduğu gibi, kim bilir daha kaç buluş için sadece şansa ihtiyacımız olacaktı.<sup>8</sup>

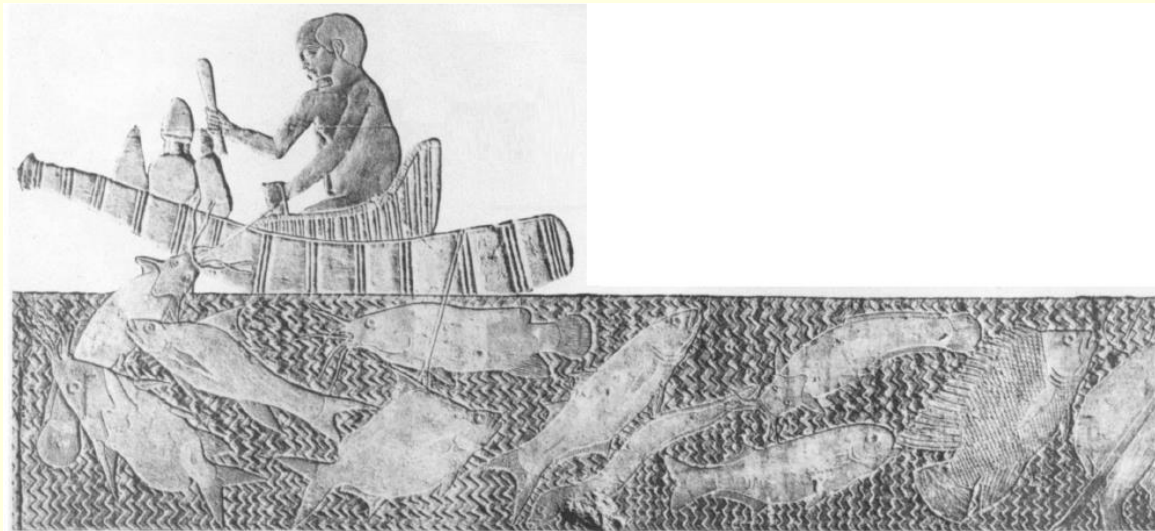
Günümüz elektrofizyoloji bilimine yapılan katkılar tartışılırken, “kıvılcımı çakan” bilim insanına saygı gereği Luigi Galvani’yi merkeze alan tarihsel bir perspektif dikkat çekmektedir.<sup>7,10</sup> Ancak, şüphesiz ki Galvani’yi buluşa götüren süreç “elektrik olay” ve “canlı elektriği” ile ilgili olarak dünyanın o döneme kadar edinmiş olduğu kazanımlar ve katkı veren bilim insanlarıdır. Bu nedenle, Mısır, Antik Yunan, Roma, Uzakdoğu, Güney Amerika ve İslam coğrafyalarındaki medeniyetlerden, Galvani’nin çalışmalarını artık yayımlamaya hazırlandığı 1790’lı yıllara kadar olan döneme aktarılmış önemli gözlemler, uygulamalar ve bilgi birikimi bu çalışmada derlenmeye çalışılmıştır.<sup>11</sup>

## Galvani Öncesi Dönem

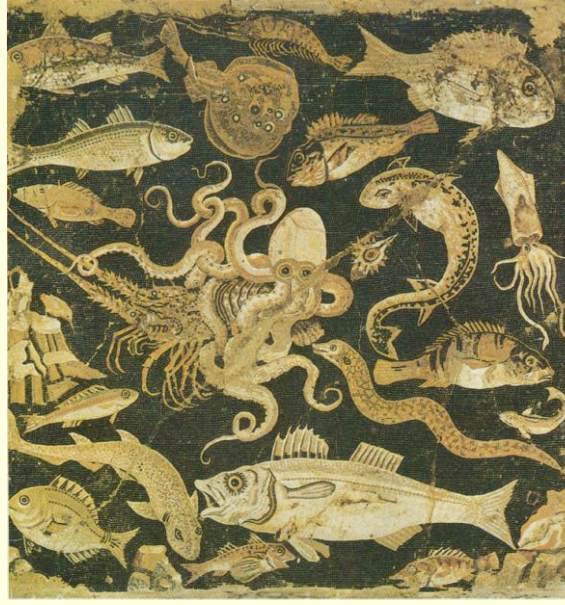
### Elektrofizyolojinin Arkasındaki Motivasyon: Elektrik Balığındaki Gizem

Elektriğin varlığı ve canlı organizmalar üzerine etkileri ile ilgili bilgi ve bulguların, Rönesans aydınlanmasıyla birlikte nitelik ve nicelik olarak farklılaştığı gözlenmektedir. Özellikle, XVIII. yüzyılın başlarından itibaren çalışma sistematizmasının değişmesi ve belki de diğer bilim alanlarındaki gelişmelerin katkısıyla bu alandaki çalışmaların hız kazandığına şahit olmaktayız.<sup>1,3</sup>

Terminolojik olarak XVII. yüzyıla kadar adı konulmamış olsa da “elektrik olayın” varlığı elektrikli yayın balığı (electric catfish), elektrikli yılan balığı (electric eel) ve torpil balığı (torpedo fish) gibi deniz ve tatlı su canlılarının üzerindeki gözlemler nedeniyle aslında yüzyıllardır bilinmekte idi.<sup>9,11</sup> Eski Mısır anıt mezarlarındaki duvar resimlerinde (**Şekil 2**) ve antik Roma dönemine ait mozaiklerde (**Şekil 3**) yer alan elektrikli balık figürlerinin varlığı, o dönemlerde elektrik olayın farkındalığını teyit eden kayıtlar olarak kabul edilmektedir.<sup>11,12</sup>



**Şekil 2.** Elektrik olayın bir canlı ile ilişkisine ait en eski kayıt, MÖ 2750 yılına ait Sakkara Hanedanından Ti’nin anıt mezarında, diğer av balıklarıyla birlikte teknenin arka kısmında ve hemen alında resmedilen Nil yayın balığı (Nile catfish, *Malopterurus electricus*).<sup>11</sup>



**Şekil 3.** Pompei'deki antik Roma harabelerinde bulunan MS I. yüzyıla ait mozaikte torpil balığı (torpedo fish), diğer Akdeniz balıklarıyla birlikte bir ahtapot ve istakozun mücadelesini seyrederken görselleştirilmiştir.<sup>11</sup>

Elektrik olayının varlığını Anadolu'da doğa ile ilgili araştırmalarında Milet'li Thales'in (MÖ 624-546) de gözlemlediği bilinmektedir.<sup>13</sup> Kehribarın (İngilizce "amber", Yunanca "ilektron") yün ile ovulduğunda tüy ve saman gibi hafif maddeleri kendine çekmesi, vücuda yaklaştırıldığında ise küçük kıvılcımlar oluşturması, bugün "statik elektrik" olarak bilinen, adı konulmamış bir "şey" idi o zamanlar. Modern tıp eğitimi ve bilimsel tıp uygulamalarının kurucusu ilk hekim İstanköy'lü Hippocrates (MÖ 460-377) tarafından yazılan makalelerin toplandığı "*Corpus Hippocraticum*" adlı kitapta, bazı hastalıkların torpil balığının ürettiği ve bugün elektrik olarak bilinen "şey" ile tedavi edildiği aktarılmaktadır.<sup>12,14</sup> Yine aynı kitapta "*narke*" başlığı altında, yiyecek olarak tüketildiğinde uyuşmaya neden olan torpil balığının astım ve ödem (dropsi) gibi hastalıklarda kullanıldığından da bahsedilmektedir. Bu kez, Aristotle'nun (MÖ 384-322) öğrencisi Theophrastus (MÖ 371-287), torpil balığına dokunulduğunda oluşan şok ve uyuşma etkisinin mızrak demiri ile de iletilebildiğini, doğal mıknaş taşı olarak bilinen turmalinin (tourmaline) hafif maddeleri kendine doğru çektiğini gözlemlemiş ve kayda geçirmiştir.<sup>11</sup>

Romalı Gaius Plinius Secundus'un (MS 23-79), torpil balığı ile temas edildiğinde şok etkisi yarattığından bahsettiğinde, bu etkinin kehribar ve turmalin ile ilişkisi henüz kurulabilmiş değildi. Elektrik üretme yeteneği olan hayvanların bazı hastalıkların tedavisinde kullanımı antik Roma'da da Scribonius Largus (MS 14-54) ile devam ettiği bilinmektedir.<sup>11,12,15</sup> Gut ve baş ağrısı gibi hastalıkların tedavisinde hastanın canlı torpil balığına doğrudan temas ettirmek suretiyle canlı elektriğinin kullanıldığı, Scribonius eserlerinde aktarılmıştır (**Şekil 3**). Bugünkü bilgilerimize göre bu işlem sırasında hasta, yaklaşık 100 Volt şiddetinde bir elektriksel potansiyele bir kaç milisaniye süreyle maruz kalmakta/ bırakılmakta idi.

Dünyanın diğer bölgelerinde de, eşzamanlı olarak, elektrik balığının bazı hastalıkların tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. Güney Amerika yerlilerinde gut hastalığının elektrikli yılan balığının 600 Volt'a ulaşan şoku ile Çin de ise pitozis ve yüz felcinin elektrikli yayın balığı ile tedavi edildiği bilinmektedir.<sup>11</sup> Roma döneminde Bergama'lı hekim Galen'in de (MS 130-201) torpil balığının güçlü elektrik şokunu, baş ağrısı ve epilepsi nöbetlerini tedavi etmek amacıyla kullandığı anlaşılmaktadır.<sup>12</sup> Birçok hayvan türü ve insan kadavrasında diseksiyon işlemi yapmış olan Galen, sinir sistemi önermesi yapmış, gözü ve kulağı beyine, omuriliği ise kaslara

bağlayan yolları tanımlamıştır. Bilginin beyinden çevre organlara doğru ya da tersi yönde, periferik sinirler ile beyne nasıl taşındığı ile ilgili yaptığı “*Galenik ventrikulo-pnömatic*” kuramında, “sinirsel bir gücün” (neural spirit, pneumata) varlığından da söz etmektedir. Bu kurama göre, bu güç beynin ventriküllerinde (boşluklarında) depolanır ve gerektiğinde içi boş sinir lifleri içinden merkezden çevreye ya da tersi yönde pompalanan bir sıvı hareketi ile sinirde iletim ve uyarılma olayları gerçekleştirilmektedir. Soğuk madde ile temasın yarattığı uyuşma hissinde olduğu gibi son organa iletilen bu güç, benzer bir etki yaratarak haberleşmede aracılık etmektedir.<sup>12,16</sup>

Antik Yunan ve Roma dönemi hekimlerinin, tedavide kullandıkları elektrik üretebilen balıkların, Orta çağda da kullanılmaya devam edildiği bilinmektedir. Bu tür canlıların baş ağrısı, melankoli, epilepsi nöbetlerinin giderilmesi gibi hastalıkların tedavisinde etkin bir şekilde kullanıldığı, ünlü filozof ve hekim İbn-i Sîna'nın (980-1037) hem doğu hem de batı dünyasında yüzyıllarca etkinliğini sürdürmüş olan “*el-Kânûn fî't-tıbb*” (Cannon of Medicine) adlı eserinden anlaşılmaktadır.<sup>12,17</sup> Orta çağ döneminde, bu tür canlıların taşıdıkları elektrik özellikleri skolastik bir yaklaşımla daha çok büyümlü ve doğaüstü mistik güçlere atfedilmekteydi.<sup>12</sup> Daha sonra bu tedavi yöntemi, zamanla gündemden düşmüş ve hatta unutulmuş olsa da sinirde iletimin doğasının anlaşılmasına yapabileceği olası katkılar nedeniyle polymath bilim insanlarının ilgi alanına gecikmeli de olsa yeniden girecektir.

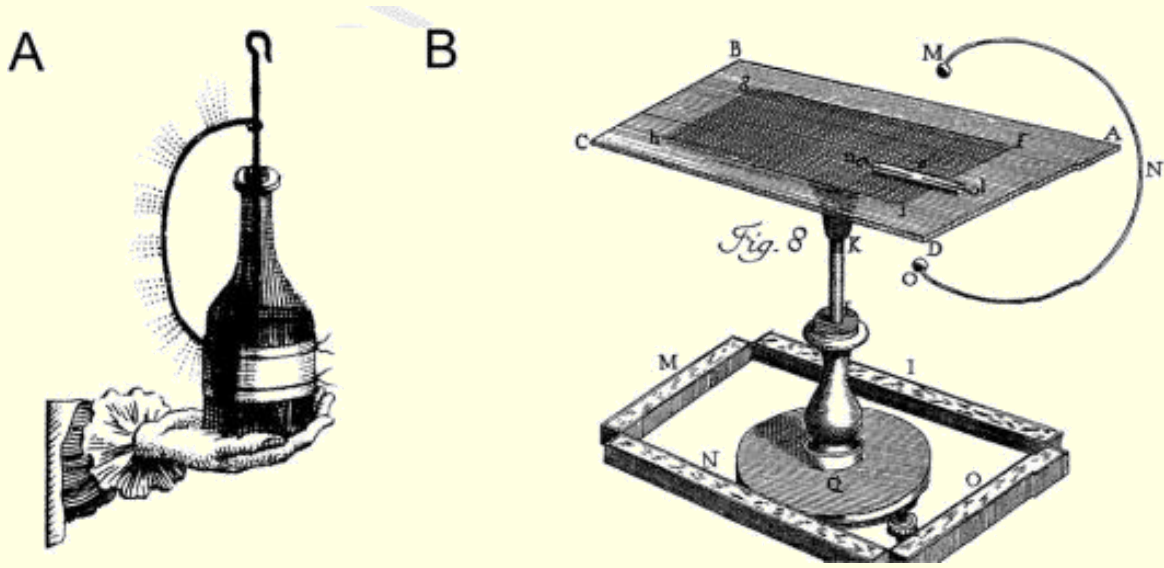
### **Diğer Doğa Bilimlerindeki Gelişmelerin Olumlu Etkileri de Yadsınamazdı**

Biyoelektrisite ve elektrofizyoloji öyküsünün yazımında, diğer doğa bilimlerindeki gelişmelerin doğrudan ve dolaylı katkısı inkar edilemez bir gerçektir. “Elektrik” terim olarak ilk kez, Galen'den XIV. yüzyıl sonra, elektrik ve manyetizmanın babası olarak bilinen İngiliz fizikçi, astronom ve hekim William Gilbert (1544-1603) tarafından kullanılmıştır.<sup>8,18</sup> Bu terim, kehribarın elle ovulduğunda saman ve kuru yapraklar gibi hafif maddeleri kendine çekmesi olayında olduğu gibi “itme ve çekme özelliği gösteren cisim” anlamına gelen Yunanca “ilektron” (ήλεκτρον) kelimesinden köken almaktadır.<sup>9</sup>

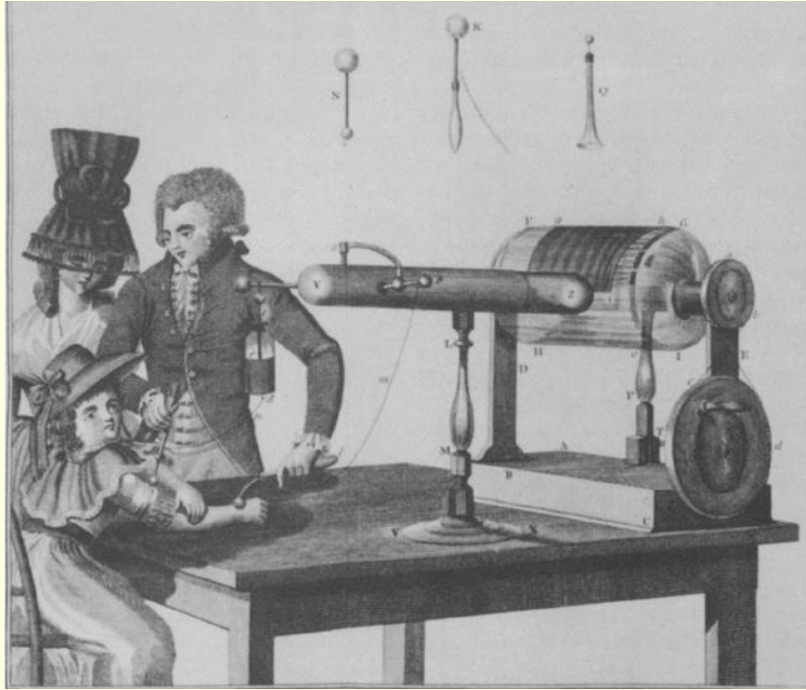
Periferik bir sinirin çok ince kanallardan (vessel) oluşan detay yapısını anlamak için, Antonie van Leeuwenhoek'un (1632-1723) kendi üretimi olan basit tek-mercekli mikroskop ile yaptığı çalışmaları beklemek gerekecekti. Galenik kuramı destekleyen van Leeuwenhoek'in bulguları, küçük bir damla “sinir sıvısı”nın (neural spirit) kas yüzeyine salgılanarak kasın kasılmasına neden olduğu fikrinin yeniden gündeme gelmesine yol açtı. Sinir iletimi ile ilgili bir başka yaklaşım ise dahi fizikçi Isaac Newton'dan (1642-1727) geldi. Newton, siniri, gücü algılayan ve içi elastik bir madde ile dolu filamentlerden oluşmuş katı (solid) bir yapı olarak tarif etmekte idi. Dolayısıyla Newton, bilginin uzak noktalara sinir lifleri içerisinde, gitar telinin titreşimlerinde olduğu gibi, bir enerji türü olarak aktarıldığını öneriyordu.<sup>9</sup> Daha sonra Newton 1717 yılında, hem duyumun (sensation) hem de kas kasılmasının arka planında aslında “elektriksel bir güç” (electric spirit) olabileceği fikrini ortaya atacaktı.<sup>19</sup> Bu önermeyi takiben, Stephen Halles (1677-1761) de Newton'u destekleyen “*sinir iletiminin bir enerji türü olarak sinir yüzeyinde taşındığı*” şeklinde kendi önermesini yapıyordu.<sup>16</sup>

### **On Sekizinci Yüzyılın Ortalarına Gelindiğinde Soru Hala Aynı İdi: Burada Aslında Ne Oluyordu?**

Eşzamanlı olarak devam eden ve gelişimini sürdüren diğer doğa bilimlerinde yapılan çalışmalar da, bu sorunun yanıtının ortaya konulmasında çığır açıcı katkılar sağlayacak enstrümanların geliştirilmesinde çok önemli katkılar sunacaktı. Bu süreçte Hollandalı fizikçi Pieter van Musschenbroek (1700-1748), 1745 yılında elektrikle ilgili diğer pek çok çalışmanın da başlangıç noktası sayılan “Leyden şişesini” (**Şekil 4.A**) geliştirerek elektriğin depolanabileceğini göstermişti.<sup>11,13,20</sup> Benjamin Franklin'in (1706-1790) “kare kondansatörü” (**Şekil 4.B**) de benzer işlev görüyordu.<sup>20</sup> Kehribar örneğinde olduğu gibi sürtünme (friksiyon) yoluyla statik elektrik üreten “friksiyon makinesinin” geliştirilmesinden sonra, üretilen elektriğin depolanması da bu şekilde mümkün hale gelmiş oluyordu (**Şekil 5**).



**Şekil 4.** Üzerlerinde depolanmış yükü boşaltmak için kullanılan iletken “yay” ile birlikte resmedilen Leyden şişesi (A) ve Franklin kare kondansatörü (B). Leyden şişesi, içinde metal bir plaka bulunan cam şişenin dışının metal folyo ile kaplanmasıyla oluşturulmuştur. Bu iki yapı içinde depolanan elektrik yük, iki kutbun temasını sağlayan metal bir “yay” üzerinden boşaltılabilmekte idi.<sup>20</sup>

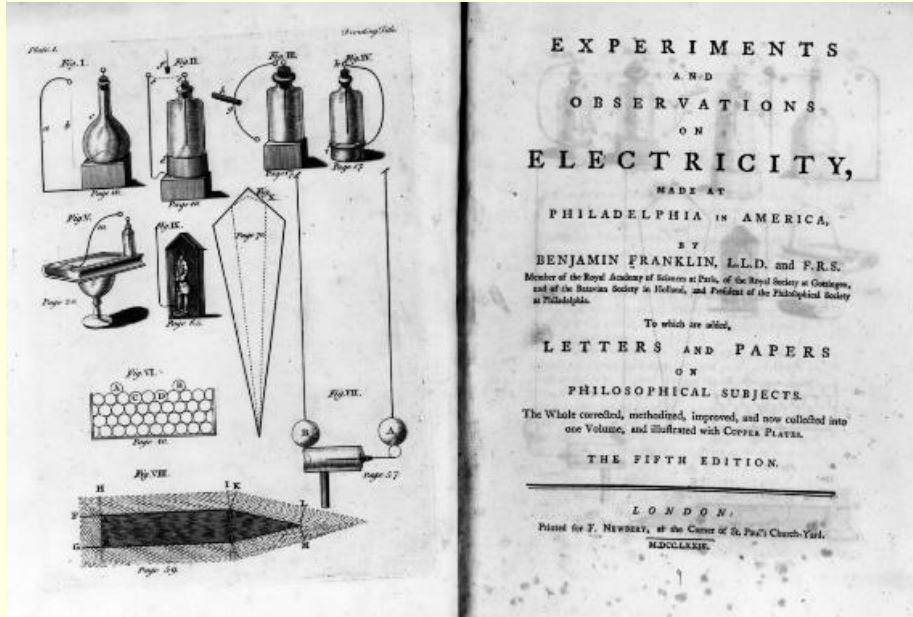


**Şekil 5.** Frikasyon makinesi ve Leyden şişesinin geliştirilmesinden sonra kontrollü elektrik uygulaması, tedavi amaçlı tıbbi ve bilimsel çalışmalarda mümkün olmuştur.<sup>11</sup>

Yağmurlu bir havada Philadelphia’da 1752 yılında gerçekleştirdiği meşhur uçurtma deneyleriyle (**Şekil 6**) Benjamin Franklin, bir doğa olayı olan yıldırımın da elektrik ile benzer özelliklere sahip olduğunu ve sonradan kullanılmak üzere Leyden şişesi içinde depolanabileceğini göstermişti.<sup>11,21</sup> Franklin tüm bu çalışmalarını ve gözlemlerini, yayımladığı “*Elektrikle İlgili Deneyler ve Gözlemler*” (Experiments and Observation on Electricity) isimli kitabında paylaşmıştır (**Şekil 7**).<sup>22</sup>



Şekil 6. Franklin'in ünlü uçurtmasını ve anahtar deneyini görselleştiren bir resmin fotoğrafı.<sup>21</sup>



Şekil 7. Benjamin Franklin'in "Elektrikle İlgili Deneyler ve Gözlemler" başlıklı kitabının beşinci baskısının giriş sayfası.<sup>22</sup>

Giuseppe Veratti (1707–1793), atmosferik elektrik ile yapay elektrik arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Franklin'in hipotezini İtalya'da gerçekleştiren ilk bilim insanı oldu. Elektrik enerjisinin fiziksel özellikleri ortaya konuldukça, bu enerji türünün canlı üzerindeki etkileri de öncelikle bilim insanlarının kendi üzerlerinde yaptıkları denemelerle, artık daha iyi anlaşılmaya başlıyordu. Bu girişimler (medikal elektrik), geleneksel yöntemlerle tedavi edilemeyen birçok hastalıkta kullanımını cesaretlendiriyordu (Şekil 5).<sup>11</sup>

Veratti tarafından, 1748 yılında Bolonya'da yayımlanan (Şekil 8), paralizi, siyatik ağrısı, baş ağrısı, işitme sorunları ve romatizmal ağrı gibi semptomların tedavisindeki elektrik uygulamalarının başarılı sonuçları, elektriğin medikal amaçlı kullanımını hekimler arasında daha da yaygınlaşan bir uygulama haline getiriyordu.<sup>7,16,18,19,23,24</sup> Bir hekim olan Veratti aslında yalnız değildi. Karısı Laura Maria Caterina Bassi (1711-1778), 1732 yılında henüz yirmi bir yaşında iken felsefe lisans diplomasını aldıktan sonra Bolonya Üniversitesinde aynı alanda kürsü sahibi olmuştu. Döneminde, kürsü sahibi ilk kadın olabileceği başarılarını da



gösteren Laura Bassi, daha sonra Veratti ile birlikte canlı elektriği kavramının önemli isimlerinden biri olan Galvani'nin de hocası olacaktı.<sup>23</sup> Veratti ve Bassi'nin evlerinde kurdukları laboratuvarında ulaştıkları deneysel çalışmaların sonuçlarını paylaştıkları “*Elektrikle İlgili Fiziksel ve Tıbbi Gözlemler*” (Osservazioni Fisico - Mediche Intorno alla Elettricità) başlıklı kitap (**Şekil 8**), dönemin erkek egemen kültürü nedeniyle, ne yazık ki sadece Giuseppe Verratti ismi ile yayımlanmıştır.<sup>18,23</sup>



**Şekil 8.** Karısı Laura Bassi ile birlikte yaptıkları deneysel çalışmaların sonuçlarının içeren ancak sadece Giuseppe Veratti ismi ile 1748 yılında yayımlanan “Elektrikle İlgili Fiziksel ve Tıbbi Gözlemler” başlıklı kitabın ilk sayfası.<sup>23</sup>

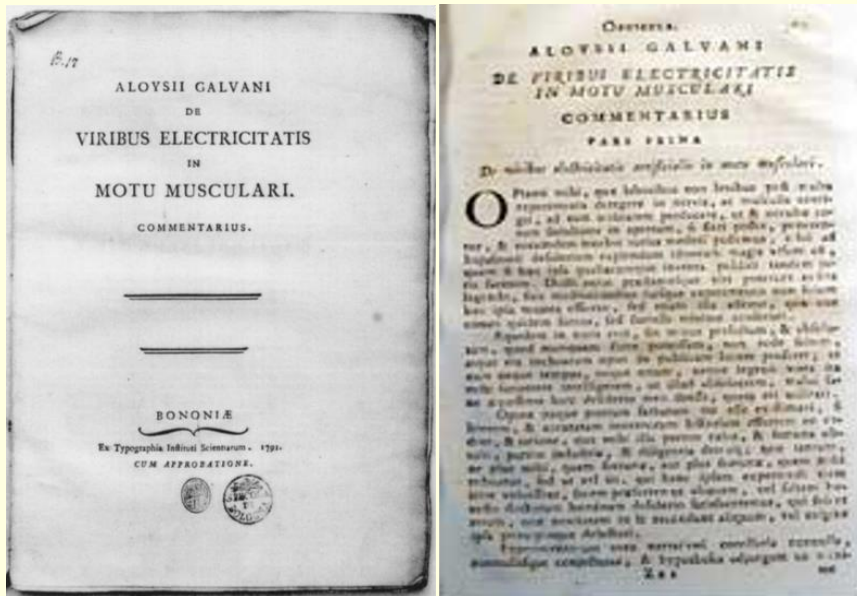
Artık uyarılabilirliğin elektriksel doğası (sinirde iletim ve kasta kasılma), Avrupa'da Tommaso Laghi (1709-1764), Giuseppe Gardini (1740-1816), Pierre Bertholon (1741–1800) gibi birçok fizyolog bilim insanı tarafından destekleniyordu.<sup>16,19</sup> Bu dönemde elektrikle tedaviye ilgi duyanlar için Bertholon ve Gardini, en önemli referans alınan kişiler olmuş idiler.<sup>1</sup> Bertholon “canlı elektriği” (Animalis elektricitas) önermesiyle hayvan (canlı) ile elektrik kavramlarını ilk kez bir arada kullanan isim olmuştur.<sup>7,16</sup> Galvani'nin laboratuvar notlarından Bertholon ve Gardini ikilisinin medikal elektrik konusunda Lyon Akademi tarafından ödüllendirildiği ve yine Galvani'nin 1791 yılında basılan kitabının teşekkür notundan da canlı elektriğinin isim babasının Bertholon olduğu anlaşılmaktadır.<sup>1</sup>

Dönemin önemli akımlarından biri de “Hallerizm” ya da “Halleriyen irritabilite” olarak bilinen teori idi. İsviçre’li fizyolog Albrecht von Haller (1708-1777), Galvani’den yaklaşık 20 yıl önce yaptığı bir seri deneysel çalışma sonucunda canlıda bazı dokular için 2 farklı özellik tanımlamıştı: uyarılabilirlik (irritability) ve duyarlılık (sensitivity). Von Haller, uyarılabilirliği kas dokusunun bir özelliği yani uyarılma sonrası kasın kasılması eylemi olarak, duyarlılığı ise sinirlerin bir özelliği olarak yani uyarılma sonrası ağrı duyumunun oluşması şeklinde tanımlamıştı.<sup>1,16</sup> Haller’in teorisi, 1750’lerde Avrupa’da ve özellikle de Bolonya’da büyük ilgi ve tartışma yaratmıştı.<sup>1,7</sup> Dönemin genç bilim insanlarından biri olan Antonio Caldani (1725-1813) ve Felice Fontana (1730-1805) “Halleriyen uyarılabilirlik” teorisini savunurken diğerleri, geleneksel kabul olan “sinir sıvısı” (animal/neural spirit) önermesini terketmiyorlardı.<sup>1,23</sup> Halleriyen teorisini şiddetle eleştirenlerden biri olan anatomist Laghi, kas kasılmasının, artık “nöroelektrik” teori olarak ta adlandırılan, sinir boyunca taşınan ve elektriksel özelliklere sahip bir sıvının (daha sonra “Galvanik sıvı” olarak isimlendirilecek) etkinliği olduğuna inanmakta idi.<sup>23</sup> Aslında bu hipotez bir anlamda, dönemin elektrik ile ilgili araştırmalarının ulaştığı bilgi birikimi

ile geleneksel sinir sıvısı (animal/neural spirit) teorisinin bir kombinasyonu. Haller destekçilerinden Fontana, haklı olarak, elektrik akımının bir “hacim iletkeni” (volume conductor) olan vücut ortamında sinir boyunca özgün bir yol izleyerek hedefe ulaşamayacağı gerekçesi ile elektriksel sıvı (electric fluid, Galvanic fluid ) teorisine muhalefet etmekte idi.<sup>7</sup> Belki de sadece bu nedenle Halleriyen teori, “nöroelektrik teoriyi” gölgede bırakacak derecede büyük kabul görmekte idi. Galvani ise, toptan ret veya kabul etmek yerine Haller'in bu teorisinin anatomi ve fizyoloji bilgisine sahip uzmanların yapacağı deneysel çalışmalarla araştırılması gerektiği inancındaydı.<sup>1</sup>

John Walsh (1725-1795) ve John Hunter'ın (1728-1793) elektrik balığı üzerine yaptıkları araştırmalarını yayımladıkları 1773 tarihli çalışmalarıyla, balığın ürettiği şokun aslında bir elektrik olay olduğunu iddia ettiler.<sup>1,11,19,25</sup> Aynı dönemde Henry Cavendish (1731-1810), torpil balığının boyutlarına ve şekline uygun deri bir kılıf içinde bir araya getirdiği 49 adet küçük Leyden şişesi ile yapay bir torpil balığı modeli tasarladı. Cavendish'in bu çalışmada elde ettiği sonuçlar, Walsh ve Hunter'ın ileri sürmüş oldukları “torpil balığının ürettiği şokun aslında elektriksel bir aktivite olduğu” iddiasını desteklemekteydi.<sup>11,12</sup> Bu gelişme artık, ilk kez Bertholon'un terim olarak yaptığı “canlı elektriği” (Animalis elektricitas) önermesini yani doğadaki canlıların içsel elektriğe sahip olabileceği ya da üretebileceği fikrini tartışmasız bir şekilde ispatlıyordu.<sup>11</sup>

Nihayet, sinirde bilgi iletimi ile ilgili en doğru kavramın ispatı “*Kas Kasılmasına Elektriksel Kuvvetlerin Etkisi Üzerine Değerlendirme*” (De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius) adlı eseriyle (**Şekil 9**) 1791 yılında Luigi Galvani'den gelmişti.<sup>1,10</sup> Galvani bu eserinde, deniz canlılarının dışındaki canlıların da elektrik üretebileceğini ve bunun uyarılabilir dokuların işlevi açısından çok önemli olduğunu öneriyordu. Bu alandaki öncüllerinin yaptığı çalışmalara bilimsel kuşku ile yaklaşması ve tabii ki inatla sürdürdüğü gözlemleri, deneyleri ve çıkarımları (neden-sonuç ilişkisi), Galvani'nin çalışmalarında çok büyük yol gösterici bir rolü oynamaktaydı. Buna ek olarak, Galvani'nin sonraki çalışmalarında, Volta'nın son derece yerinde ve değerli bilimsel eleştirileri ile süregelen rekabetin tetiklediği motivasyonu da göz ardı etmemek gerekiyor.



**Şekil 9.** “*Kas Kasılmasına Elektriksel Kuvvetlerin Etkisi Üzerine Değerlendirme*” başlıklı Luigi Galvani'nin 1791 yılında yayımladığı ilk eseri.<sup>1</sup>

Kısa vadede karşılıklı yararlı sonuçlanan, sonraki süreçte ise devrim niteliğindeki gelişmelerin öncülüğünü yapacak olan “Galvani-Volta rekabeti”, aslında “elektrofizyoloji” tarihinde ilk kıvılcımın çakıldığı köşe taşı niteliğindeki çok değerli bir tartışmanın yolunu da açıyordu.<sup>15,26,27</sup>

## Bilgi

Tüm şekiller birçok kaynak tarafından yaygın olarak kullanıldığı için özel izin alınmamıştır, alındığı kaynak her bir şeklin altında kaynak olarak verilmiştir. Çalışma için herhangi bir kurumdan maddi destek alınmamıştır. Çalışma herhangi bir dergiye gönderilmemiş ve kongrede sunulmamıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## Araştırmacı Katkı Oranı Beyanı

Erhan Kızıltan: Fikir/kavram, tasarım, veri toplama veya işleme, analiz veya yorum, kaynak tarama, makalenin yazımı.

Nizamettin Dalkılıç: Denetleme, veri toplama veya işleme, analiz veya yorum, makalenin yazımı, eleştirel inceleme.

## Kaynaklar

1. Bresadola M. History of Neuroscience: Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737–1798). *Brain Research Bulletin* 1998; 46(5): 367–80.
2. Finger S, Edgar D. Adrian: Coding in the Nervous System, *Minds Behind the Brain: A history of the pioneers and their discoveries.* Oxford University Press; 2005. pp:239-58. (DOI:10.1093/acprof:oso/9780195181821.003.0015)
3. Bayat AH. Tıp Tarihi. Merkezefendi Geleneksel Tıp Tarihi Derneği Yayınları, İstanbul: Üçer Matbaacılık; 2016. pp:178.
4. Cesim A. Immanuel Kant'ın felsefi görüşlerinin uluslararası ilişkiler disipliniyle yansımaları. *Türkiye Siyaset Bilimleri Dergisi* 2019; 2 (1): 1-24.
5. Lütfi YS. Aydınlanma Karşıtlığı. Available from: <https://yusufsamimlutfu.wordpress.com/> (Erişim Tarihi:15.06.2021)
6. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Luigi\\_Galvani%2C\\_oil-painting.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Luigi_Galvani%2C_oil-painting.jpg) (Erişim Tarihi: 15.06.2021)
7. Kipnis N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. *Annals of Science* 1987; 44:107-142.
8. Heilbron JL. The contribution of Bologna to Galvanism. *Historical Studies in the Physical and Biological Science* 1991; 22(1): 57-85.
9. Soeiro D. On artificial and animal electricity Alessandro Volta vs. Luigi Galvani. *Journal of Philosophy of Life* 2013; 3(3):212-237.
10. Mc Comas AJ. Galvani's Spark; The Story of the Nerve Impulse. Oxford University Press 2011; pp:11-37.
11. Wu CH. Electric fish and the discovery of animal electricity: The mystery of the electric fish motivated research into electricity and was instrumental in the emergence of electrophysiology. *American Scientist* 1984; 72 (6):598-607.
12. Tsoucalas G, et al. The "torpedo" effect in medicine. *Int Marit Health* 2014; 64(2):65-67.
13. Experiment: The Beginning of Modern Neuroscience-The Galvani/Volta Debate. Available from: [https://backyardbrains.com/experiments/Galvani\\_Volta](https://backyardbrains.com/experiments/Galvani_Volta) (Erişim Tarihi: 14/06/2021)
14. Lüderitz B. Historical perspectives of cardiac electrophysiology. *Hellenic J Cardiol* 2009; 50:3-16.
15. Parent A. Giovanni Aldini: From animal electricity to human brain stimulation. *Can. J. Neurol. Sci.* 2004; 31:576-584.
16. Verkhatsky A, Parpura V. History of electrophysiology and the patch clamp. *Methods in Molecular Biology* 2014; 1183:1-19.
17. Cambra LMA. The editions and the translations of avicenna's canon of medicine. *Journal of Advances in Humanities* 2016; 4(1):423-430.
18. Piccolino M. Women in Science: Laura Bassi et Adriana Fiorentini: realisations et difficultes de deux dames italiennes dans les sciences, au18<sup>eme</sup> et au20<sup>eme</sup> siecle. Available from: <http://marcopiccolino.org/> (Erişim tarihi:15.06. 2021)
19. Underwood EA. Galvani and the discovery of 'animal electricity'. *Nature* 1955; 175:441-442. (Doi: <https://doi.org/10.1038/175441a0>)
20. Piccolino M. Luigi Galvani's path to animal electricity. *Comptes Rendus Biologies* 2006; 329:303-318. (Doi: 10.1016/j.crv.2006.03.002)
21. The Franklin Institute, Benjamin Franklin and the Kite Experiment. Available from: <https://www.fi.edu/benjamin-franklin/kite-key-experiment>. (Erişim Tarihi: 15.06.2021)
22. ars Technica, That time Benjamin Franklin tried (and failed) to electrocute a turkey. Available from: <https://arstechnica.com/science/2019/11/that-time-benjamin-franklin-tried-and-failed-to-electrocute-a-turkey/> (Erişim Tarihi:15.06.2021)
23. Cavazza M. Laura Bassi and Giuseppe Veratti: an electric couple during the Enlightenment. *Contributions to Science* 2009; 5(1):115-128. (Doi:10.2436/20.7010.01.67)
24. Piccolino M. Visual Images in Luigi Galvani's path to animal electricity. *Journal of the History of the Neuroscience* 2008; 17:335-48. (Doi:10.1080/09647040701420198)
25. Piccolino M, Bresadola M. Drawing a spark from darkness: John Walsh and electric fish. *TRENDS in Neurosciences* 2002; 25(1):51-57.

26. Piccolino M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. *Brain Research Bulletin* 1998; 46(5):381-407.
27. Dibner B. *Immortals of Science Alessandro Volta and the Electric Battery*. New York 22: Franklin Watts, Inc.; 1964. pp: 1-106.