

Elektrofizyolojinin Tarihsel Serüveni: Galvani Sonrası Galvanizm*

Historical Perspective on Early Electrophysiology: Galvanism After Galvani

Erhan Kızıltanⁱ, Nizamettin Dalkılıçⁱⁱ

ⁱProf. Dr. Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik AD., <https://orcid.org/0000-0001-6029-3835>

ⁱⁱProf. Dr. Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik AD., <https://orcid.org/0000-0002-2306-4467>

ÖZ

Elektrofizyolojinin tarihsel sürecini konu aldığımız bu çalışmada Galvani sonrası erken dönem değerlendirilmiştir. Galvani'nin deneylerini onun ölümünden sonra da tekrarlayan Alessandro Volta, çalışmalarını "volta pili" olarak bilinen "sürekli akım kaynağı" buluşu ile taçlandırmıştır. Volta pili, Galvani'nin "canlı elektriği" teorisinde tanımladığı doğal elektrik organını taklit edencesine, aralarında tuzlu suyla ıslatılmış mukavva katmanların bulunduğu iki farklı metalin üst üste diziliminden oluşuyordu. Galvani'nin ölümünden sonra yeğeni, fizikçi Giovanni Aldini, "yeniden canlandırma" deneyleriyle "canlı elektriği" teorisine farklı bir tartışma boyutu kazandırdı. Dayısının aksine Volta'ya daha yakın olan Aldini, reanimasyon deneylerinde Volta pili kullanarak, sonradan "galvanizm" olarak anılan teoriyi tanıtmaya ve yaygınlaştırma çabasında bulundu. Aldini'nin bu çabaları, "galvanik tedavi" adı altında birçok çalışmayı da tetiklemiş oldu. Faraday'ın "manyetik indüksiyon" kavramı önermesi ve "manyetik bobin" geliştirmesi sonrasında Duchenne de Boulogne, galvanik ve alternatif akımın farklı biyolojik etkilerini ortaya koyarak birçok yanlış uygulamanın yaygınlaşmasını engellemiş olacaktı. Bunun yanı sıra, Galvani'nin önermeleri ve Aldini'nin provokatif çalışmaları, Mary Shelley'nin "Frankenstein" adlı romanında olduğu gibi birçok bilim kurgu eser için de ilham kaynağı olmuştur.

Galvani'den sonra canlı elektriği ile ilgili dönemin en önemli buluşunu Carlo Matteucci yapacaktı. Matteucci, torpil (torpedo) balığının beyin sapındaki "elektrik lob" adı verilen özel bir yapının elektrik deşarjlarını kontrol ettiğini gösterdi. Daha sonra Matteucci, "biyolojik pil" kavramını bilim dünyasına kazandırarak "elektrik deşarj" ve "aksiyon akımı" önermelerinde de bulunacaktır. Takip eden dönemlerde elektromotor kuvvet birimi olarak "Volt" seçimi, "galvanizm", "galvanik akım" ve "galvanometre" kavramları ile, Volta ve Galvani bilim camiası tarafından onurlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Canlı Elektriği, Elektrofizyoloji, Galvanizm, Luigi Galvani, Alessandro Volta

ABSTRACT

This study reviews the electrophysiological developments right after Galvani from the historical perspective. Volta, repeating the Galvani's experiments, would lead the invention of battery. The first battery consisted of two different metals placed on top of each other, with layers of cardboard soaked in salty water in between, mimicking the natural electric organ that Galvani described earlier. After the death of Galvani, his nephew, physicist Giovanni Aldini, has brought different dimension of discussion to Galvani's "animal electricity" theory with his provocative "reanimation" experiments. He used voltaic pile in his demonstrations of "galvanism". Aldini's efforts triggered so many medical applications under "galvanic therapy". Thanks to Faraday's proposal of the concept of "magnetic induction" and his invention of "magnetic coil", Duchenne worked with both galvanic and alternating currents for the treatment of certain neuropathic diseases, thus preventing the fantastic misuse of electric current on patients. Galvani's theory and the experiments, specifically Aldini's demonstrations had also been the source of inspiration for many works of science fiction, such as Mary Shelley's novel "Frankenstein".

After Galvani, Carlo Matteucci would make the most important invention regarding the animal electricity. Matteucci showed a special structure in the torpedo's brain stem, called as "electric lobe" which controls the activity of electric organ. Later, Matteucci would introduce the concept of "biological pile" and make suggestion of phenomenon "electric discharge" and "action current". The history of science honored Volta by using his name as the unit of electromotive force and Galvani by using the terms "galvanism", "galvanic current" "galvanometer".

Keywords: Animal Electricity, Electrophysiology, Galvanism, Luigi Galvani, Alessandro Volta

*Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 2022;12(2):247-261

DOI: 10.31020/mutfd.1037800

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

Geliş Tarihi – Received: 17 Aralık 2021; Kabul Tarihi - Accepted: 31 Ocak 2022

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

Giriş

Galvani ve Yaşamın Enerjisi

Canlıda yaşamın kaynağı araştırılırken ulaşılan “canlı elektriği” (animal electricity) kavramı bilim tarihinin ve tarihçilerin her zaman ilgisini çekmiştir. Günümüz “elektrofizyoloji” özel bilim alanının köşe taşı niteliğindeki “canlı elektriği” kavramını, Galvani dönemini ve sonrasını tartışırken, bu döneme kadar edinilen bilgi birikimini hatırlamak yararlı olacaktır.

Tarihsel süreçten günümüze aktarılan bilgilerden, farklı coğrafyalardaki medeniyetlerde elektrikle ilgili gözlem ve uygulamalar sonucunda önemli bir bilgi birikiminin oluştuğu anlaşılmaktadır.¹⁻³ Elektrik olay ve canlı organizmalar üzerindeki etkisi ilk çağlardan bu yana biliniyor olmakla birlikte, “elektrik” terimi ilk kez İngiliz Fizikçi, William Gilbert (1544-1603) tarafından kullanılmıştır.⁴ Bir yandan elektrik olayla ilgili hızlı gelişmeler olurken, bir yandan da canlı varlıklar üzerindeki etkileri araştırılmakta idi. Çevresel sınırlarda bilgi iletiminin doğası ile ilgili ilk yaklaşım, Antonie von Leeuwenhoek’un (1632-1723) kendi üretimi olan basit tek mercekli mikroskop ile yaptığı çalışmalarla gelmişti. Von Leeuwenhoek’in bulguları, küçük bir damla “sinir sıvısının” (neural spirit) kas yüzeyine salgılanarak kasın kasılmasına neden olduğunu düşündürüyordu. Diğer bir yaklaşım ise fizikçi Isaac Newton’dan (1642-1727) gelmişti. Newton, siniri, gücü algılayan içi elastik bir madde ile dolu filamentlerden oluşmuş katı bir yapı olarak tarif etmişti. Newton daha sonra hem duyumun hem de kas kasılmasının arka planında aslında “elektriksel bir güç” (electric spirit) olabileceği fikrini önerdi.⁴ Stephen Halles (1677-1761) de Newton’u destekleyen “sinirde bilgi iletiminin bir enerji türü olarak sinir yüzeyinde taşındığı” şeklindeki önermesini yaptı.⁵

On sekizinci yüzyılın ortalarına gelindiğinde yanıtı aranan soru hala aynı idi: Burada aslında ne oluyordu? Doğru bilimlerinin diğer alanlarında yapılan eşzamanlı çalışmalar sorunun yanıtını ortaya koyacak aygıtların gelişmesine katkı sağlıyordu. Friksiyon makinesi ile üretilen statik elektriğin depolanması, Pieter van Musschenbroek’in (1700-1748) geliştirdiği Leyden Şişesi ve Benjamin Franklin’in (1706-1790) geliştirdiği kare kondansatör ile mümkün hale gelmişti.^{3,6} Bu buluşlar, daha sonraki dönemlerde biyoelektrik olayın aydınlatılması yolundaki en önemli gelişmeler olacaktır. Giuseppe Veratti (1707-1793) tarafından 1748 yılında yayınlanan bir çalışma, medikal elektrik uygulamalarını hekimler arasında yaygın hale getirmiş, birçok hastalığın tedavisinde kullanılmasını sağlamıştı.⁷⁻⁹ Atmosferik elektrik ile yapay elektrik arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Franklin hipotezini doğrulayan kişi yine Veratti olmuştu. Veratti ve karısı Laura Maria Caterina Bassi (1711-1778) evlerinde kurdukları laboratuvarında deneysel çalışmalar yapmışlar ve sonuçlarını “Medikal Elektrik” başlıklı bir kitapta, “dönemin sosyal kuralları” nedeniyle sadece Veratti’nin ismiyle yayınlamışlardı.^{9,10} Bassi ve Veratti her ikisi birden daha sonra Galvani’nin hocası olacaklardı.

Fizyolog Albert von Haller (1708-1777) tarafından önerilen ve “Hallerizm” ya da “Halleriyen irritabilite” olarak bilinen teori ile bazı dokular için iki farklı özellik tanımlanmıştı: uyarılabilirlik (irritabilite) ve duyarlılık (sensitivity). Von Haller, uyarılabilirliği kas dokusunun bir özelliği, duyarlılığı ise sinirlerin bir özelliği olarak tanımlamıştı. Halleriyen teorisi 1750’lerde Avrupa’da büyük ilgi görürken tartışmayı da beraberinde getirmişti.^{1,11} İngiltere’de 1770’li yıllarda John Walsh (1725-1795), John Hunter (1728-1793) ve Henry Cavendish (1731-1810) gibi araştırmacıların elektrikli torpil (torpedo) balığı üzerinde yaptıkları araştırmalardan elde ettikleri bulgular bazı hayvanların içsel elektriğe sahip olabileceğini gösteriyordu.⁴ Aynı yıllarda Luigi Galvani de kurbağa kalp kası hareketleri ile spinal siniri ilişkilendiren çalışmaları ile “nöroelektrik teoriyi” araştıranlar arasındaydı.

Nihayet, sinirde bilgi iletimi ile ilgili en doğru kavram “**Kas Kasılmasına Elektriksel Kuvvetlerin Etkisi Üzerine Değerlendirme**” (*De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius*) adlı eseriyse 1791’de **Luigi Galvani’dan** (1737-1798) gelecekti. Galvani bu eserinde, deniz canlılarından başka canlıların da elektrik

üretebileceğini ve bunun, uyarılabilir dokuların işlevi açısından çok önemli olduğunu öneriyordu. Bu alandaki öncüllerinin yaptığı çalışmaları değerlendirmesi ve tabii ki inatla sürdürdüğü gözlemleri, deneyleri ve çıkarımlarının (neden-sonuç ilişkisi) Galvani'nin bu sonuca ulaşmasındaki rolü çok büyüktü. Tüm bunlara ek olarak, Volta'nın değerli bilimsel eleştirileri ile tetiklenen motivasyonunu da göz ardı etmemek gerekiyor. Dolayısıyla, karşılıklı yararlarla sonuçlanan ünlü Galvani-Volta rekabetinin, biyoelektrisite ve sonrasındaki elektrofizyoloji tarihinde köşe taşı niteliğindeki ilk kıvılcımı (spark) oluşturduğu düşünülmektedir.^{4,12}

Luigi Galvani gerçekten de bulmuş muydu yaşamın enerjisini?

Kimilerine göre hasta karısına mutfakta yemek olarak kurbağa bacağı hazırlarken, bizzat kendisinin yaptığı “rastlantısal” gözlemlerle, kimilerine göre ise bir “dahi” olan karısı **Lucia Galeazzi Galvani**'nin (1743-1788) mutfaktaki gözlemleriyle başlayan Luigi Galvani'nin çalışmaları, “**canlı elektriği**” (animal electricity) adını verdiği, daha sonraları “**biyoelektrisite**” olarak adlandırılan ve canlı organizmaların doğuştan gelen yaşam enerjisini (vital force) elektrik ile ilişkilendiren teorisi ile sonuçlanacaktır (**Şekil 1**).^{8,12-15}

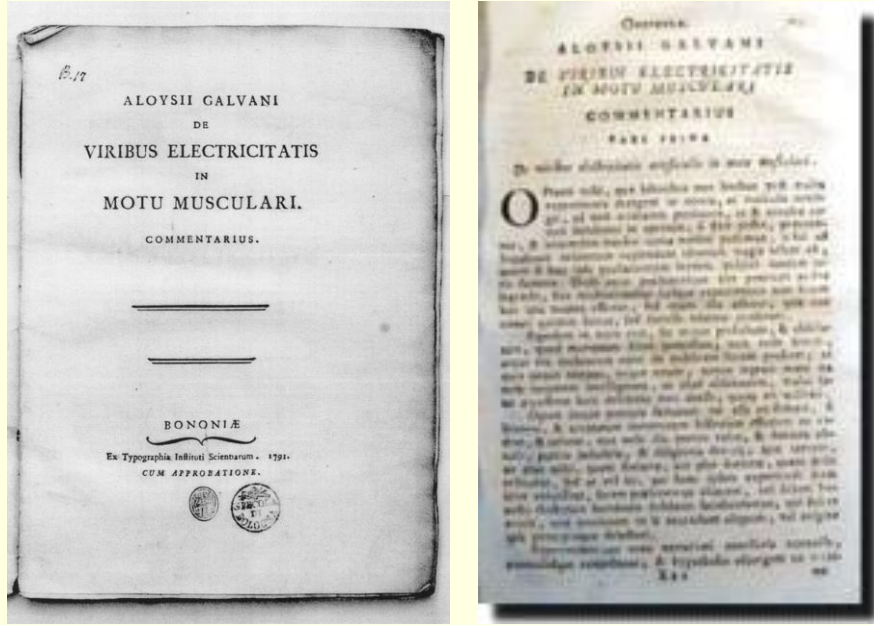


Şekil 1. Luigi Galvani ve eşi Lucia Galeazzi Galvani'nin çağdaş portreleri. Lucia Galeazzia, deneylerinde Luigi'ye hem destek hem de yardımcı oldu. Çalışmalarının bir kısmı da Bolonya Üniversitesinin saygın bilim insanlarından biri olan Lucia'nın babası anatomi profesörü Domenico Gusmano Galeazzi'nin evinde gerçekleştirildi.^{12,14}

İlk kez 1786 yılında, kurbağanın vücudundan ayrılmış bir bacağındaki kas seğirmesinin, yakınındaki bir elektrik makinasındaki yük boşalması (deşarj) ile ilişkisini keşfetmişlerdi. Sonraki deneylerinde, Lucia ve Galvani bakırdan yapılmış metal bir kancayı kurbağanın sinir ucu ile bacağına yerleştirildiği demir bir plakaya aynı anda dokundurduklarında bacağına yine seğirdiğini görecektlerdi. Luigi, bu seğirmenin nedeninin, organizmanın kendisinde var olan veya üretilen elektrik olduğu sonucuna vararak bu yeni elektrik türünü “**canlı elektriği**” olarak adlandıracaktı. Galvani, tüm bu çalışmalarının sonuçlarını, Lucia'nın ölümünden sonra ilk kez 1791 yılında, “**Elektriksel Kuvvetlerin Kas Hareketlerine Etkisi Üzerine Değerlendirme**” (*De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius*) başlıklı eserinde (**Şekil 2**) yayınlamıştır.¹⁵

Kuzey İtalya'nın Como kasabasında aristokrat bir bilim insanı olan fizikçi **Alessandro Volta** (1745 – 1827), Galvani'nin deneylerini tekrarlayarak çok daha farklı bir yorumda bulunuyordu. Ona göre kas kasılması, Galvani'nin idda ettiği gibi canlı elektriği kavramından ziyade, birbiriyle değmede olan farklı iki metalin (bi-metal) uçları arasındaki elektrik yükü dağılımıyla, yani “**metalik elektrik**” ile açıklanabilirdi. Volta, Galvani'nin canlı elektriği teorisini reddederek aslında bilim tarihinin en önemli tartışmalarından birini başlatmış bulunuyordu. Galvani'nin ölümünden sonra Volta'nın devam eden çalışmaları onu, “**Volta pili**” (Voltaic pile) olarak bilinen “sürekli elektrik akım kaynağı” buluşuna götürecektir.^{14,16} Alessandro Volta buluşunu, Londra Kraliyet Topluluğu başkanı Sir Joseph Banks'a (1743–1820) hitaben Fransızca kaleme aldığı 20 Mart 1800

tarihli mektubu ile duyuruyordu (**Şekil 3**). Öncüllerinin çeşitli deniz/tatlı su canlıları üzerinde yaptığı çalışmalardan ilham aldığına vurgu yapmak için “*yapay elektrik organ*” (*organe électriques artificiel*) olarak adlandırdığı buluşu büyük ilgi görecekti.¹⁷



Şekil 2. Luigi Galvani'nin 1791 yılında yayımlanan ve Alessandro Volta da dahil olmak üzere bazı meslektaşlarına gönderdiği birkaç kopyadan biri olan “*De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius*” adlı eserinin ilk sayfaları.¹⁵



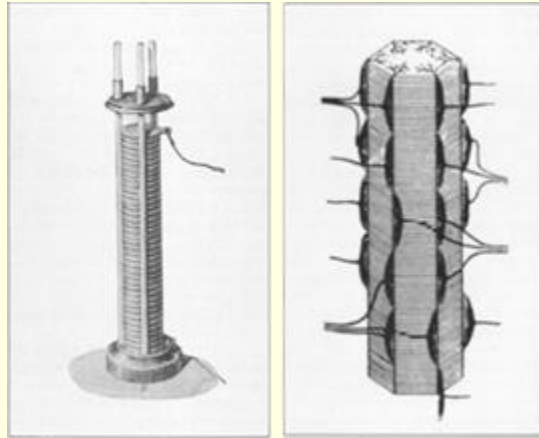
Şekil 3. (a) İki önemli buluşu pil ve elektrofor (elektrik jeneratörü) ile birlikte Volta'nın çağdaş portresi. **(b)** Sir Joseph Banks'a göndermek üzere hazırladığı mektubun taslak metni.¹⁶

Volta, 1801'de Napoleon Bonaparte'ın (1769-1821) davetiyle Paris'e giderek Kont unvanı ile onurlandırıldı (**Şekil 4**). Fransa Ulusal Enstitüsü'nde (daha sonra Bilimler Akademisi) buluşu ile ilgili konferanslar verdi, çeşitli ödüller ile birlikte döneminin saygın bilim insanları arasında yerini aldı.^{18,19}



Şekil 4. Alessandro Volta "Volta pili"ni Napoleon'a tanıtırken.¹⁹

İlk elektrik bataryası olan "Volta pili", aralarına tuzlu suya batırılmış mukavva katmanların yerleştirildiği iki farklı metalden oluşan plakaların ardışık olarak istiflenmesiyle oluşturulmuştur.¹⁴ Sürekli elektrik akımı üreten bu aygıtı üretirken Volta, "temelde aynı" olduğunu söylediği doğal elektrik organına benzerliğinden ilham aldığını da özellikle vurgulayacaktı (Şekil 5).



Şekil 5. Alessandro Volta'nın "yapay elektrik organı" adını verdiği ilk elektrik bataryası (solda) ve ilham aldığını özellikle vurguladığı "doğal elektrik organı" (sağda). Sağdaki şematik çizim, torpil balığının elektrik organındaki bölmeleri ve bu bölmelere bağlı sinirleri göstermektedir: yapay elektrik organı ile doğal olan arasındaki benzerlik dikkat çekicidir.¹⁴

Birçok bilim insanının aksine, Galvani'nin kişilik olarak daha yapıcı ve kapsayıcı tutuma sahip olduğu, deneysel çalışmalarına da yansıdığını anlaşılmaktadır. Çalışmalarının, bu alandaki farklı iki görüşün (Halleriye ve nöroelektrik teori) kavramsal unsurlarını da içeriyor olması buna işaret etmektedir.¹⁴ Laboratuvar notlarından, Galvani'nin sabit fikirli olmadığı ve başlangıçtaki görüş ve hipotezlerini deney sonuçları doğrultusunda değiştirmeye açık olduğu izlenimi edinilse de, Volta ile rekabetinde ortak noktada buluşmalarının nedenini izah etmek de zordur. Uzmanlık alanlarının farklı olması nedeniyle aynı deneyleri

farklı perspektiften yorumlamaları ve ortak noktayı görmekte zorlanmalarını, bu iki değerli bilim insanının inatçı (all or none) kişiliklerine bağlamak da mümkündür.³ Nitekim sonradan, her iki önermenin de doğru olduğu gösterilecektir.^{16,20} Ancak ne var ki, bunun için bilim dünyasının neredeyse 100 yıl beklemesi gerekecekti.

Galvani'nin ölümünden sonra yeğeni ve aynı zamanda asistanı olan **Giovanni Aldini** (1762 –1834), kendisini dayısının “canlı elektriği” teorisini “galvanizm” başlığı altında savunmaya adayarak zaten tartışmalı olan bu kavrama farklı bir boyut daha kazandıracaktı (**Şekil 6**).²¹ Teatral ve provokatif “yeniden canlandırma” deneyleriyle, elektriğin vücuttaki işleyişinin daha iyi anlaşılması için özverili bir çaba harcadıysa da bunun, Galvani adına faydalı mı yoksa zararlı mı olduğu tartışmalıdır.^{9,22}

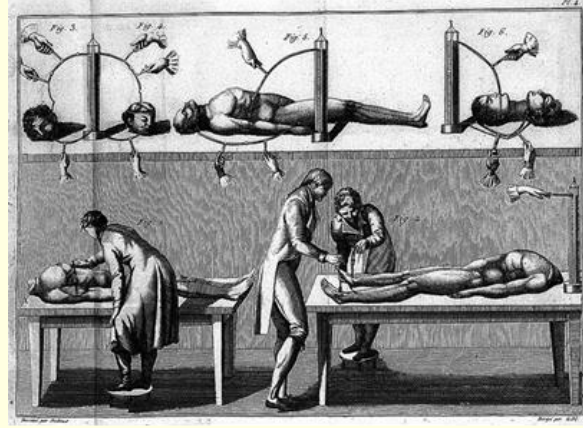


Şekil 6. Canlılar ve kavrular üzerinde daha önce hiç denenmemiş uygulamalarla bilimin sınırlarını zorlamış parlak bir İtalyan fizikçi Dr. Giovanni Aldini (solda), 68 yaşında iken çizilen karakalem portresi (sağda).^{21,23}

Galvani Sonrası Aldini'nin Çabaları

Galvani'nin kız kardeşinin oğlu olan Giovanni Aldini, annesinin de teşviki ile okuduğu Bolonya Üniversitesinden 1782 yılında fizikçi olarak mezun oldu.^{21,23} Mezuniyetinin hemen sonrasında dayısının evinde kurulu olan laboratuvarında yardımcı araştırmacı olarak çalışmaya başladı.^{4,21}

Galvani'nin ölümünden sonra Aldini, kendisini dayısının “canlı elektriği” teorisini bilimsel olarak yaymaya vakfetmişti. Bolonya Üniversitesi profesörü olarak, Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde bilimin saygın temsilcileri önünde sansasyonel kasılma deneylerini gerçekleştiriyordu. Genellikle, Volta pili kullanarak, koyun, köpek, sığır ve hatta yeni infaz edilmiş suçluların baş ve vücutları üzerinde gerçekleştirdiği “yeniden canlandırma” deneyleriyle, elektriğin vücuttaki işlevinin daha iyi anlaşılması için çaba harcamaktaydı (**Şekil 7**).²⁵



Şekil 7. Giovanni Aldini'nin galvanizm olarak isimlendirdiği sansasyonel kasılma deneyleri.²⁵

Aldini, Galvani'nin ölümünden sonra da sürdürdüğü teorik ve deneysel çalışmalarını 680 sayfada derleyerek 1804 yılında "**Galvanizm üzerine teorik ve deneysel çalışmalar**" (*Essai Théorique et Experimental sur le Galvanisme*) başlığı ile yayınlacaktır (Şekil 8).^{4,26}



Şekil 8. Aldini'nin "**Galvanizm üzerine teorik ve deneysel çalışmalar**" adlı eserinin kapak sayfası.²⁶

Kitabını, 1796 yılında Avusturya ordusunu Kuzey İtalya'da bozguna uğratan Napoleon'a ithaf etmişti. Kitabında ithaf gerekçesi olarak, Napoleon'un yoğun askeri ve politik faaliyetleri sırasında, deneysel çalışmalarını bizzat onurlandırarak ilgi göstermesi ve sonrasında galvanizmin gelişmesine yol açan diğer tüm bilim alanlarına verdiği desteği gösteriyordu. Aldini burada, aslında, iki zıt kişiliğe sahip insana zekice bir üslup ile övgü düzüyordu.⁴ Bunlar, gururlu ve inatçı bir kişiliğe sahip Napoleon ile tüm yaşamı boyunca tutucu, alçak gönüllü, barışçı ve bir o kadar da inatçı bir kişilik sergileyen Galvani'ydi. Napoleon'un diktatörlüğünde kurulan devlet 1797 – 1801 yılları arasında "**Cisalpine Cumhuriyeti**" adıyla, sonrasında da 1805 yılına kadar "**İtalya**

Cumhuriyeti” adıyla anıldı. Nihayet, yarımadanın birliğini oluşturabilme adına bu cumhuriyeti **“İtalya Krallığına”** dönüştürecektir. Sosyopolitik gelişmeler karşısındaki kayıtsız tutumuyla Aldini, Volta’ya dayısı Galvani’den daha yakındı. Belki de bu tutumları nedeniyle, daha sonra her ikisi de Fransa etkisinde kurulan devletlerde önemli idari görevler alacaklardır. Volta gibi (**Şekil 9**) Cisalpine Cumhuriyetine bağlılık yemini eden Aldini, 1807 yılında Bolonya’dan Milano’ya taşınacaktır.^{27,28}



Şekil 9. Kont Alessandro Volta ve Volta pillerini resmeden birçok portre yapılmıştır. Bu portrede verdiği poz, Napoleon’un kurduğu rejimi onayladığını işaret ettiği şeklinde yorumlanmaktadır.²⁸

Galvanizmin amansız savunuculuğunu yapsa da Aldini, bilimsel olarak Volta’nın canlı elektriği teorisi karşısındaki itirazlarını hiçbir zaman yok saymadı.² Neredeyse tüm Avrupa’da dolaşarak gerçekleştirdiği deneyler ve gösterilerden en meşhuru, 1803 yılında Londra’daki Newgate Hapishanesinde **“Kraliyet Cerrahlar Koleji”** (Royal Collage of Surgeons) nezaretinde, henüz idam edilmiş bir suçlu olan George Forster üzerindeki deneysel çalışmadır.^{4,25} Gösteride yapılanlar, hapishanenin protokol defterinde **“Henüz idam edilen suçlunun yüz bölgesine yapılan ilk uygulamada, çenesinde titreme, komşuluğundaki kasların kasılması ile yüzünde korkunç bir ifade ve bir göz kapağının açıldığı gözlendi. Sonraki uygulamada, sağ kol havaya kalktı ve eli sımsıkı kenetlendi, bacak ve baldırı hareket etmeye başladı”** ifadeleriyle kayıt altına alınmıştır.²

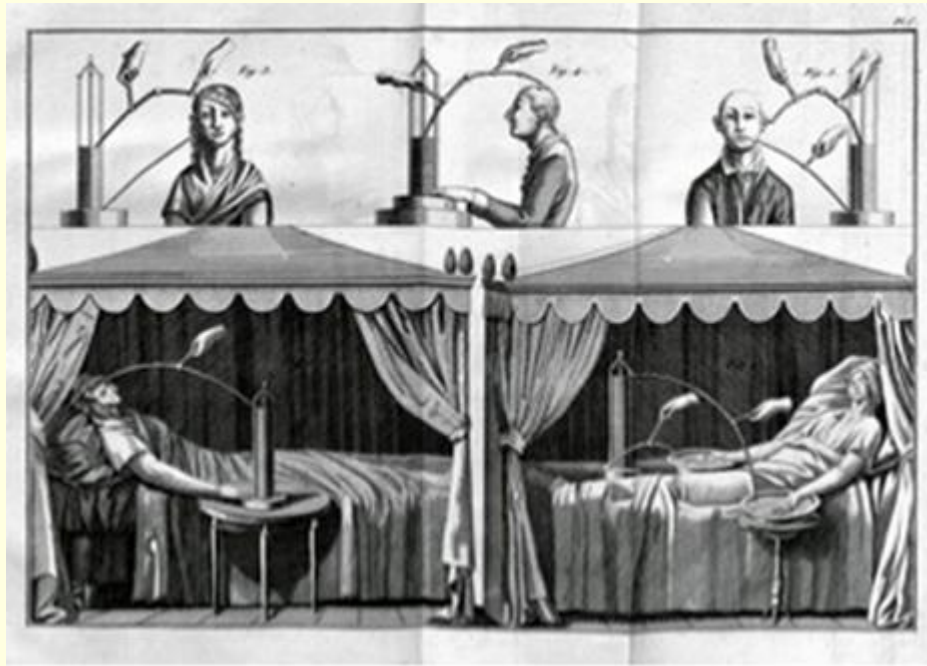
Bir kadavra yeniden canlanabilir mi?

İzleyicilerde şok etkisi yaratan bu dramatik sonuçlar, ölü bir insanın yeniden hayata dönebileceği konusunda bazı izleyicileri ikna etmeye yetmişti (**Şekil 10**).²⁹



Şekil 10. Ondokuzuncu yüzyılın birinci yarısında bilim insanlarının, ölüleri yeniden canlandırılması konusundaki çabaları ve gösterileri.²⁹

Sonraki günlerde, dikkat çekici sunumları ile popüler gazetelerde (The Times, 22 Ocak 1803) yer alan bu gösteriler, halkta da benzer bir izlenim oluşmasına neden oluyordu.²⁸ Ancak daha sonra Aldini, amacının bir kadavrayı yeniden canlandırmak olmadığı, yalnızca galvanizmin travma sonrası diğer uyarıcı ajanları destekleyici bir yöntem olarak değerlendirilebileceği ile ilgili deneysel bilgi oluşturmayı hedeflediğini iddia etmişti.^{27,30} Aldini'nin bu çabaları, "galvanik tedavi" adı altında birçok başka çalışmanın da yapılmasını tetiklemiş oluyordu. Bu süreçte, galvanik uyarılar gut, ateş, hidrosefali, körlük, sağırılık ve genitoüriner hastalıklar ve hatta bazı mental problemlerin tedavisinde dahi ayırım gözetmeksizin kullanılmaya başlayacaktı (Şekil 11).³⁰ Bazı hekimler, özünde "galvanizm" olan tedavi alanındaki bu bilimsel gelişmeleri benimsemişti ve hiç zaman kaybetmeden "her derde deva" sloganıyla pazarlamaya koyulmuşlardı.



Şekil 11. Aldini, Sant'Orsola Hastanesinde mental sorunları nedeniyle yatan bazı hastalara uyguladığı galvanik akım seanslarından olumlu sonuçlar aldığı bildirmiştir. Geçmişteki bu tür uygulamalar, günümüz modern tedavi uygulamalarından transkraniyal elektrik stimülasyonun öncülü olarak değerlendirilmektedir.³⁰

Amerikalı hekim Elisha Perkins (1741-1799) ile başlayan bu tür uygulamalar bilim camiasını da ikiye bölecekti.^{29,31} Uygulanan yöntemlerden biri de vücuda ardışık olarak statik elektrik yüklemelerinin ve deşarjların yapılabildiği Wimshurst cihazlarının kullanımı olmuştur.³¹ Bu tür uygulama, Atlantik'in iki yakasında popüler bir dönem geçirirken aynı zamanda da alay konusu oluyordu (**Şekil 12**).²⁹ Bu anlamda, Aldini'nin o dönemdeki iyi niyetli bu çabaları, dayısı Galvani'nin bilimsel saygınlığını tartışmaya da açmış oluyordu.³² Bugün itibarıyla ise Aldini, günümüz tedavi yöntemlerinden kardiyak defibrilasyon ve transkraniyal elektrik stimülasyon gibi uygulamaların fikir öncüsü olarak değerlendirilmektedir.³⁰



Şekil 12. Elisha Perkins'i alaya alan, metalik traktörleri kullanırken resmedilmiş karikatürü.²⁹

Bilimsel elektrodiagnostik uygulamalardan farklı olarak fırsatçılar için iyi bir ortam haline dönüşen “*elektroterapi*”, XIX. yüzyılın ikinci yarısında artık popülaritesini kaybediyordu. Fransız nörolog **Duchenne de Boulogne** (1806-1875), o dönemde çoğu hekimin tedavi amaçlı olarak kullanmayı tercih ettiği elektrik uygulamalarını, fizyolojik araştırma yöntemi ve bazı nöropatik hastalıkların teşhisi için test aracı olarak kullanımını gündeme getirdi.³¹ Voltaik akım uygulamalarının yaygınlaşması sürerken **Michael Faraday** (1791-1867) 1830'larda magnetik indüksiyon (magnetic induction) buluşunu yapmış ve indüksiyon bobinini (induction coil) geliştirmişti. Faraday'ın bu buluşu, volta pilinin sürekli akımından farklı olarak, “*pulslu akım*” (faradik akım) oluşturma ve uygulama imkanı veriyordu. Faradik elektrik, kısa süreli akım modalitelerini uygulanma imkanı sunmuştu. Böylece Duchenne, volta pilinden elde edilen sürekli akım uyarılarının (voltaik akım) yanı sıra hastalarında, genliği ve süresi kontrol edilebilir pulslu akım (faradik akım) üreteçlerini de kullanmaya başlamış oldu. Tüm bunlara ek olarak hastalarında, lokal elektrik uyarılarını oluşturabileceği, akım yoğunluğunu kontrol edebileceği ucu kumaş kaplı çok özel elektrotların geliştirilmesine de öncülük edecektir.³¹

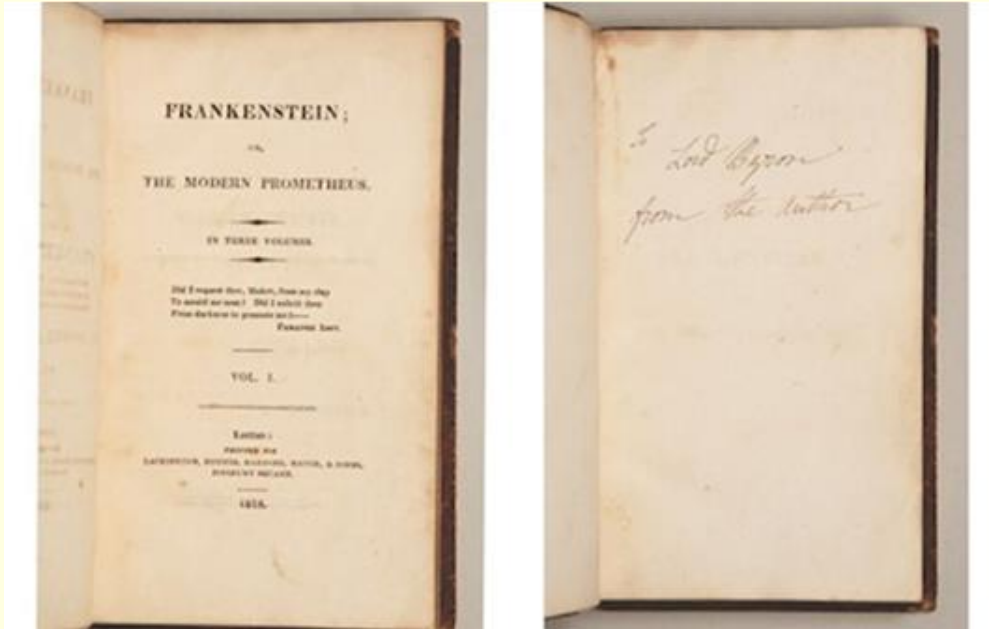
Frankenstein ve Galvani

Galvani'nin buluşları ve onu takip eden sonraki çalışmalar, bilim-kurgu roman türünün ilk ve en önemli örneklerinden birine de ilham kaynağı olacaktır. **Mary Wollstonecraft Shelley** (1797-1851), 1816 yazında, henüz 19 yaşında bir genç kız iken (**Şekil 13**), sonradan evleneceği İngiliz şair ve edebiyatçı Percy Bysshe Shelley ile birlikte yine ünlü bir İngiliz şair ve edebiyatçı olan Lord Byron'u Cenevre'de ziyarete gider. Dönemin saygın edebiyatçıları en iyi “*korku romanını*” yazmak için Lord Byron'un malikanesinde bir araya gelmişlerdi.³³



Şekil 13. Frankenstein; ya da Modern Prometheus (1818)'un yazarı Mary Shelley'in Richard Rothwell tarafından yapılmış portreleri (1840).³³

Mary Shelley daha o günlerde, Galvani ve Volta'nın bilimsel tartışmaları ve Aldini'nin gösterileri ile ilgili her detaya hakimdi. İsviçre ve İtalya'da, galvanizm ve "hayata geri dönüş" çerçevesindeki deneysel çalışmaları içeren tartışmalarla geçen iki yılın sonunda Mary Shelley, tüm zamanların en çok okunan "**Frankenstein; ya da Modern Prometheus**" (Frankenstein; or The Modern Prometheus) adlı dünyanın ilk bilim-kurgu tarzındaki korku romanını (**Şekil 14**) yazacaktır.^{1,4} Mary Shelley'in gotik tarzdaki hikayesi, tutkulu bir bilim insanının, sonunu öngöremeden başlattığı ölümden sonra hayatın yeniden yaratılması çalışmalarını irdeler. Hayatın gizeminin, vücudun ve tabii ki ölümden sonra yeniden canlanmanın elektrikte gizli olduğunu göstermeye tutkulu Dr. Viktor Frankenstein'in bir "*yaratık*" tasarımıyla başlayan bu korku romanına ilgi kısa sürede artarak dünya klasikleri listesinde yerini alacaktır.



Şekil 14. Yazarı tarafından (Mary Shelley) Lord Byron için imzalanan "**Frankenstein; ya da Modern Prometheus**"un 1818 yılı ilk baskısı açık artırmada 350.000 Pound'a alıcı bulmuştu.^{1,4}

Romanda, Frankenstein tarafından dillendirilen ve bir pasajda sadece bir kez geçen "*galvanizm*" kelimesi, Mary Shelley'in ilham kaynağına işaret etmektedir.⁵ Romanın ilk baskısı, 1 Ocak 1818'de Londra'da isimsiz

olarak yayımlanmıştı.^{1,34} Yazarın adı, ilk kez 1823 yılında Fransa'da yayımlanan ikinci baskıda yer alacaktı. Mary Shelley, galvanizmden esinlendiğini açıkça ilk kez, romanın 1831 yılı baskısının önsözünde açıklayacaktır.⁶

Elektrofizyolojide İtalyanların Etkisi Sürüyor

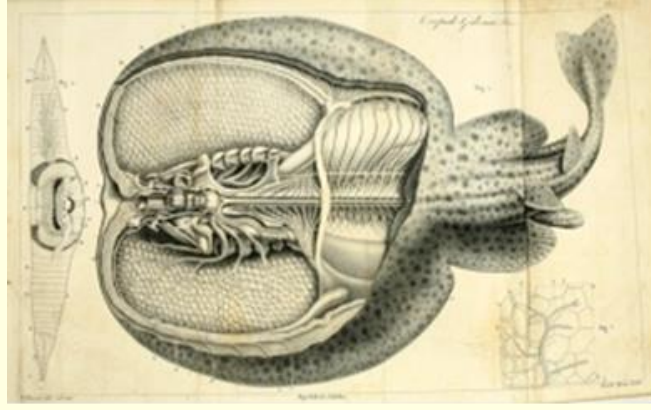
Giovanni Aldini'nin sıra dışı çalışmaları dışında, Galvani'nin ölümünden sonra "canlı *elektriği*" ile ilgili çok az çalışma yapıldı. Bu alanda bir sonraki gelişme yine İtalya'da gerçekleşecekti. Bu kez Floransa'da Galvani'den 36 yıl sonra, **Leopold Nobili** (1784-1835) ilk kez, kendi tasarımı olan "*astatik galvanometre*" ile kurbağa kasının sağlam ve kesi olan noktası arasında bir elektrik akımı gözlemledi. Ancak, bilim çevrelerinde Volta hala o kadar etkiliydi ki Nobili, gözlemlediği akımın biyolojik değil de kas dokusundaki sıvının buharlaşması sırasında ortaya çıkan termal etkiden kaynaklandığı şeklinde yorumlamak durumunda kaldı.^{12,27}

Sonraki büyük buluşu bu kez **Carlo Matteucci** (1811-1868) yapacaktı. Galvani'nin Bolonya'daki üniversitesinden mezun olan Matteucci, 1840 yılında yine eski bir İtalyan üniversite kenti olan Pisa'da fizik profesörü olmuştu (**Şekil 15**).^{27,35}



Şekil 15. Carlo Matteucci (1811-1868).³⁵

Matteucci'nin torpil balığının elektrik organı üzerine yaptığı çalışması, oldukça saygın kurumlarından Paris'teki Bilimler Akademisi'nde (Academie des Science) sunulmuştu. Bu, Roma döneminde Scribonius ve Galen'in, hastalarını tedavi etmek için kullandıkları torpil balığı ile ilgili çok kapsamlı bir çalışma idi. Çalışmada Matteucci, elektrik organda oluşan elektrik deşarjının, balığının beyin sapındaki "*elektrik lob*" adı verilen özel bir yapı tarafından kontrol edildiğini iddia etmiş ve yaptığı diseksiyonlarla lobun yapısını çizerek göstermişti (**Şekil 16**).^{36,37}



Şekil 16. Torpil (torpedo) balığı. ^{36,37}

Matteucci, kurbağadaki canlı elektriği teorisi ile de ilgilenerek Galvani ve Nobili'nin çalışmalarını inceledi. Nobili'nin ölçtüğü akımın gerçek biyolojik akım olduğunu ve akımın sürdürücü gücünün kas ve sinirin sağlam ve kesi olan bölgeleri arasındaki elektriksel potansiyel farkı olduğunu gösterdi. Bu tam da Galvani'nin Leyden şişesindeki deşarjdan esinlenerek önerdiği gibi kas lifinin iç ve dışı arasındaki elektriksel yük farkına işaret ediyordu. Matteucci'nin kendi deyimiyle "*proper current*" olarak tanımladığı bu akım zamanla "*yaralanma akımı*" (demarcation current) adını alacaktır.^{27,28} Ek olarak, bu akımın kurbağaya özel olmadığı sıcakkanlı hayvanlarda da geçerli olduğunu gösterecekti.

Matteucci daha sonra, Volta piline benzer bir yaklaşımla, kas dokusunun sağlam ve kesi olan yüzeylerini birbirleriyle temas edecek şekilde ardışık olarak yerleştirerek daha yüksek voltajlı "*biyolojik pili*" bilim dünyasına kazandırmış oldu.^{27,28} Kas kasılmasına eşlik eden "*elektriksel deşarj*" veya "*aksiyon akımı*" (action current) önermesinde bulunan ilk kişi olarak Matteucci de Paris Bilimler Akademisi'nin seçkin üyeleri arasında yerini aldı.²⁷

Sonuç olarak; bilim tarihinin, Volta ve Galvani'ye hak ettikleri saygınlığı takdim ettiği söylenebilir. Bilime katkılarını yaşatmak adına sonradan, elektrik akımının sürdürücü gücü olarak tanımlanan elektromotor kuvvetin birimi "volt", sürekli akım (steady) "galvanik akım", akım-ölçer ise "galvanometre" olarak isimlendirilmiştir. Çok yıllar sonra ise, tüm yaşamını geçirdiği Bolonya'da **Bolonya Bilimler Enstitüsü** binası ve meslek hayatı boyunca görev yaptığı üniversite binasının önündeki "**Piazza Galvani**" meydanına elinde kurbağa preparatıyla bir heykeli dikilmiştir. Bugün, ondan 250 yıl sonra, sanki o zamanı yaşıyormuşuz ve sanki her an Galvani ile karşılaşacakmışız gibi duyguya kapılmamak mümkün değil, tarihi dokusu korunmuş meydana dolaşırken (Şekil 17).^{7,19}



Şekil 17. Bolonya'da Galvani Meydanı ve ölümünden yaklaşık yüz yıl sonra dikilmiş Adalberto Cencetti tarafından yapılan heykeli. Bir tarafında üniversiteye gidip gelirken içinden geçtiği meydan, bir tarafında da ders verdiği, gösteri (demonstrasyon) ve diseksiyon yaptığı anatomi laboratuvarları.⁷

Bilgi

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

Araştırmacı Katkı Oranı Beyanı

Erhan Kızıltan: Fikir, Tasarım, veri toplama ve işleme, analiz ve yorum, kaynak tarama ve sağlama, makale yazımı.

Nizamettin Dalkılıç: Denetleme, analiz ve yorum, veri toplama ve işleme, eleştirel inceleme.

Kaynaklar

1. The Body Electric. Smithsonian Libraries and Archives; Available from: <https://library.si.edu/exhibition/fantastic-worlds/body-electric> (Erişim tarihi: 15.11.2021).
2. Brown A.S. The science that made Frankenstein: How early experiments with electricity inspired Mary Shelley's reanimated monster. Available from: <https://www.insidescience.org/news/science-made-frankenstein> (Erişim Tarihi: 15.07.2021).
3. Experiment: The beginning of Modern Neuroscience: The Galvani/Volta Debate. Available from: https://backyardbrains.com/experiments/Galvani_Volta (Erişim Tarihi:15.11.2021).
4. Parent A. Giovanni Aldini: From animal electricity to human brain stimulation. *Can. J. Neurol. Sci* 2004;31:576-584.
5. Verkhratsky A, Parpura V. History of electrophysiology and the patch clamp. *Methods in Molecular Biology* 2014;1183:1-19.
6. 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.
7. Brasadola M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737-1798). *Brain Research Bulletin* 1988;46(5):367-80.
8. Underwood E.A. Galvani and the discovery of 'animal electricity'. *Nature* 1955;175:441-2.
9. Cavazza M. Laura Bassi and Giuseppe Veratti: an electric couple during the Enlightenment. *Contributions to Science* 2009;5(1):115-28.
10. Piccolino M. Women in Science: Laura Bassi et Adriana Fiorentini: realisations et difficultes de deux dames italiennes dans les sciences, au18^{eme} et au20^{eme} siecle. Available from: <http://marcopiccolino.org/> (Erişim Tarihi: 15.11.2021)
11. Kipnis N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. *Annals of Science* 1987;44:107-42.
12. Piccolino M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. *Brain research Bulletin* 1998;46(5):381-407.
13. Heilbron JL. The Contributions of Bologna to Galvanism. *Historical Studies in the Physical and Biological Science* 1991;22(1):57-85.
14. 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.
15. Brasadola M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737-1798). *Brain Research Bulletin* 1988;46(5):367-80.
16. Piccolino M. The bicentennial of the Voltaic battery (1800-2000): the artificial electronic organ. *Trends Neurosci* 2000;23:147-51.
17. Finger S, Piccolino M, Stahnisch FW. Alexander von Humboldt: Galvanis, Animal Electricity, and self-experimentation Part 2: The electric eel, animal electricity, and later years. *Journal of the History of the Neurosciences* 2013;22(4):327-52.
18. Alessandro Volta. Available from: <https://www.encyclopedia.com/people/history/historians-miscellaneous-biographies/alessandro-volta> (Erişim Tarihi:15.07.2021)
19. Duke S. Battery technology has changed little since Volta, but are longer lasting batteries finally here? *Science Spinning* 2015. Available from: <https://io.wp.com/sciencespinning.com/wp-content/uploads/2015/09/voltas-battery.jpeg?ssl=1> (Erişim tarihi: 15.07.2021)
20. Mc Comas AJ. Galvani's Spark; The Story of the Nerve Impulse. Oxford University Press, New York 2011;3-47.
21. npg 2515 (19); Giovanni Aldini. Available from: <https://www.npg.org.uk/collections/search/portrait/mw00077/Giovanni-Aldini> (Erişim Tarihi: 15.11.2021).
22. Partin C. Profiles in Cardiology: Alessandro Volta. *Clin. Cardiol* 2002;25:541-3.
23. Montillo R. The Italian 'Mad Scientist' Whose Experiments Inspired Frankenstein. *Italian Sons and Daughters of America*, 2019. Available from: <https://orderisda.org/culture/literature/the-italian-mad-scientist-whose-experiments-inspired-frankenstein/> (Erişim Tarihi: 15.11.2021)
24. Areas FZS, Areas GPT, Moll Neto R. Giovanni Aldini and his contributions to non-invasive brain stimulation. *Arq. Neuro-Psiquiatr* 2020;78(11):733-5.

25. Giovanni Aldini, galvanism experiments Wellcome L0007024.jpg; Available from: https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Giovanni_Aldini,_galvanism_experiments_Wellcome_L0007024.jpg (Erişim Tarihi: 15.11.2021).
26. Essai théorique et expérimental sur le galvanisme, avec une série d'expériences faites en présence des commissaires de l'Institut national de France, et en divers amphithéâtres de Londres, par Jean Aldini,...Avec planches. Available from: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k61162023.textelImage> (Erişim Tarihi: 15.11.2021) .
27. Moruzzi G. The electrophysiological work of Carlo Matteucci.1964. Brain Res Bull 1996;40(2):69-91.
28. Piccolino M, Wade NJ. Carlo Matteucci (1811-1868), the “frogs pile”, and the Risorgimento of electrophysiology. Cortex 2012;48:645-6.
29. Walton G. Elisha Perkins: Eighteenth-century Metallic Tractor Inventor. Available from: <https://www.geriwalton.com/elisha-perkins-eighteenth-century-metallic-tractor-inventor/> (Erişim Tarihi: 15.11.2021).
30. The Odd Sallon. 1803: Giovanni Aldini attempts to reanimate the dead. Available from: <https://www.oddsalon.com/jan-18-1803-giovanni-aldini-attempts-to-reanimate-the-dead/> (Erişim tarihi: 03.11.2021)
31. Campbell EDR. The Achievement of Duchenne. Proc.Roy.Soc. Med. Section of Physical Medicine 1973;66:4-8,
32. Piccolino M, Bresadola M. Drawing a spark from darkness: John Walsh and electric fish. TRENDS in Neurosciences 2002;25(1):51-7.
33. Mary Wollstonecraft Shelley by Richard Rothwell © National Portrait Gallery, London. Available from: <https://www.bl.uk/people/mary-shelley> (Erişim Tarihi: 15.11.2021).
34. Mary Shelley, Frankenstein; or, The Modern Prometheus. The most valuable books in existence 2017. Available from: <https://www.telegraph.co.uk/books/authors/the-most-valuable-rare-books-in-existence/mary-shelley-frankenstein-or-the-modern-prometheuslondon-for-lac/> (Erişim Tarihi: 15.11.2021).
35. Carlo Matteucci (1811-1868): Profilo della vita e dell'opera. Catalogue search Wellcome Collection. Available from: <https://wellcomecollection.org/works?query=%22Matteucci,%20Carlo,%201811-1868.%22> (Erişim Tarihi: 15.11.2021).
36. Finger S, Piccolino M. The shocking history of electric fishes. From ancient epoches to the birth of modern neurophysiology. Oxford University Press, New York 2011; 3-201.
37. Tsoucalas G. et al. The “torpedo” effect in medicine. Int Marit Health 2014;64(2):65–7.