PAPER DETAILS

TITLE: Elektrofizyolojinin Tarihsel Serüveni: Galvani Dönemi

AUTHORS: Erhan KIZILTAN,Nizamettin DALKILIÇ

PAGES: 24-38

ORIGINAL PDF URL: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1963382

Derleme - Review

Elektrofizyolojinin Tarihsel Serüveni: Galvani Dönemi*

Historical Perspective on Early Electrophysiology: The Galvani Period

Erhan Kızıltan[i], Nizamettin Dalkılıç[ii]

[i]Prof. Dr. Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik AD., https://orcid.org/0000-0001-6029-3835

[ii]Prof. Dr. Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik AD., https://orcid.org/0000-0002-2306-4467

ÖZ

Elektrofizyolojinin tarihsel sürecini konu aldığımız bu çalışmada Luigi Galvani dönemi ele alınmıştır. Galvani, felsefe ve tıp eğitimi sırasında dönemin saygın hocalarından fizik, kimya ve tarih derslerini de almıştır. Bolonya Üniversitesinde doğum hekimi olarak çalışırken elektrik olaya ilgi duymuş, elektriğin canlılar üzerindeki etkisini, özellikle sinir ve kas arasındaki etkileşimi araştırmaya yönelmiştir.

Galvani'yi, "canlı elektriği" kavramına ulaştıran ve yaşam enerjisini elektrik olay ile ilişkilendirmesine neden olan süreç, hocası ve kayınpederi Galeazzi'nin evindeki laboratuvarda yaptığı gözlem ve deneylere dayanır. Karısı Lucia ile birlikte izole kurbağa bacağında yaptıkları rastlantısal gözlemler onları, sinir-kas preparatının kendi fonksiyonu için gerekli enerjiyi (elektrik) kendisinin üretebildiği sonucuna götürmüştür. Aslında bu sonuç, birbiri ile rekabet halindeki "Halleriyen" ve "nöroelektrik" görüşlerin başarılı bir sentezini içermektedir. Çalışmalarını, kısaca "*Commentarius*" olarak anılan eserinde karısının ölümünden hemen sonra 1791 yayınlayabilmiştir.

Galvani, kastaki seğirmeler için gerekli elektriğin kasın iç-dış yüzeyleri etrafında zıt yükler halinde depolandığını (canlı elektriği) iddia etmiştir. Deneyleri tekrarlayan Alessandro Volta ise enerjinin, birbiri ile değmede bulunan iki farklı metalden (metalik elektrik) kaynaklandığına işaret etmiştir. Bilim tarihinin en önemli tartışmalarından biri olan "Galvani-Volta rekabeti" bu şekilde başlamış oluyordu. Aslında her ikisi de haklı idi. Ölümünden hemen önce Galvani, canlı elektriği iddiasını ampirik olarak ispatlamış da olsa, depolanmış bu elektrik enerjisinin ölçülmesi için yüz yıldan fazla bir zamanın geçmesi gerekecekti. Canlı elektriğini taklit ederek gerçekleştirdiği deneyler ise Volta'yı, bataryanın keşfine kadar götürmüştür. Karşılıklı olarak birbirini besleyen bu değerli rekabetin öncüsü Galvani, canlı elektriği önermesiyle elektrofizyolojik yöntem uygulamaları için kıvılcımı çakan bilim insanı olarak kabul görmektedir.

Anahtar Kelimeler: Canlı elektriği, Elektrofizyoloji, Elektrik balığı, Galvani, Volta

ABSTRACT

In this study, the contributions made by the scientists of the time of Luigi Galvani to electrophysiology were discussed. While he was practicing obstetrics at the University of Bologna, Galvani became interested in the phenomenon of electricity and its effects on animals, and specifically the interactions between electricity and nerve-muscle preparation.

The experiments he performed together with his wife, Lucia, on isolated frog leg ended up with the concept of "animal electricity". Their final conclusion was that the neuromuscular preparation itself is capable of producing energy necessary for its function (internal electricity). He published their observations in a book known as "*Commentarius*" in short, right after Lucia's death. He suggested that the internal electricity is stored as opposite charges around the inner-outer surfaces of muscles.

Alessandro Volta, on the other hand, claimed that the source of energy for muscle contraction was the contact point of two different metals (metallic electricity). This is how one of the important debates of the history of science started: "Galvani-Volta debate". Galvani had empirically proven his claim just before his death; however, it would take more than a hundred years for this electrical energy to be measured. Volta was also right in his claim and this led him to the invention of battery short after Galvani's death. Galvani, as the pioneer of this debate that mutually fed each other in their own way, is respected by the scientific community as the scientist who sparked the new field of science: electrophysiology.

Keywords: Animal electricity, Electrophysiology, Electric fish, Galvani, Volta

Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 2022; 12 (1): 24-38
DOI: 10.31020/mutftd.992710
e-ISSN: 1309-8004, ISSN 1309-761X
Geliş Tarihi – Received: 08 Eylül 2021; Kabul Tarihi - Accepted: 26 Kasım 2021
İletişim - Correspondence Author: Erhan Kızıltan <erhankiziltan@gmail.com>

Giriş

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 Galvani döneminin canlı elektriği ile ilgili süreçlerini tartışmadan önce bu döneme kadar oluşan bilgi birikimini kısaca hatırlamakta fayda vardır.

Elektrikle ilgili olarak, Mısır, Antik Yunan, Roma, Uzakdoğu, Güney Amerika ve İslam coğrafyalarındaki medeniyetlerden günümüze aktarılan kaynaklardan, bu dönemlerdeki gözlem ve uygulamalar sonucunda çok değerli bir bilgi birikiminin oluştuğu anlaşılmaktadır.[1-3] Elektrik olayla ilgili farkındalık ve canlı organizmalar üzerine etkisi biliniyor olmakla birlikte, "elektrik" terimi ilk kez İngiliz fizikçi, astronom ve hekim William Gilbert (1544-1603) tarafından kullanılmıştır.[4]

Çevresel sinirlerde bilgi iletiminin doğası ile ilgili ilk yaklaşım, Antonie van Leeuwenhoek'un (1632-1723) tek mercekli basit bir mikroskop ile yaptığı çalışmalarla birlikte gelmişti. Leeuwenhoek'un bulguları, küçük bir damla "sinir sıvısının" (neural spirit) kas yüzeyine salgılanarak kasın kasılmasına neden oluğunu düşündürüyordu.[4] Diğer bir yaklaşım ise fizikçi Isaac Newton'dan (1642-1727) geldi. Newton siniri, gücü algılayabilen, içi elastik bir madde ile dolu flamanlardan oluşmuş bir yapı olarak tarif etmişti. Newton daha sonra hem duyumun hem de kas kasılmasının arka planında aslında "elektriksel bir güç" (electric spirit) olabileceği fikrini önermişti.[5] Stephen Halles (1677-1761) de Newton'u destekleyen "*sinir iletiminin bir enerji türü olarak sinir yüzeyinde taşındığı*" şeklindeki önerisini yapmıştı.[5]

On sekizinci yüzyılın ortalarına gelindiğinde cevabı aranan soru hala aynı idi: Burada aslında ne oluyordu? Doğa bilimlerinin diğer alanlarında yapılan eşzamanlı destekleyici çalışmalar sorunun yanıtını ortaya koyacak enstrümanların 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.[6,7]

Giuseppe Veratti (1707-1793) tarafından 1748 yılında yayınlanan bir çalışma medikal elektrik uygulamalarını hekimler arasında yaygın hale getirmiş, paralizi, siyatik ağrısı, baş ağrısı, işitme sorunları ve romatizmal ağrıların giderilmesi gibi hastalıkların tedavisinde kullanılmasını sağlamıştır.[5,8,9] Atmosferik elektrik ile yapay elektrik arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Franklin hipotezini doğrulayan kişi yine Veratti olmuştur. Veratti ve felsefe lisans diploması sahibi ve aynı zamanda İtalyan üniversitelerinde kürsü sahibi ilk kadın olan karısı Laura Maria Caterina Bassi (1711-1778) ile evlerinde kurdukları laboratuvarda deneysel çalışmalar yapmışlar ve sonuçlarını dönemin koşulları gereği sadece Veratti'nin ismiyle "*Medikal Elektrik*" başlıklı bir kitapta yayınlamışlardı.[9,10] Bassi ve Veratti her ikisi de daha sonra Galvani'nin hocaları olacaklardır.

Bu alandaki öncüllerinin yaptığı çalışmaları değerlendiren **Luigi Galvani** (Latince: **Aloysii Galvani**; 1737-1798) (***Şekil 1***),[11,12] sinirde bilgi iletimi ile ilgili en doğru kavramı, önerdiği *"Kas Kasılmasına Elektriksel Kuvvetlerin Etkisi Üzerine Değerlendirme"* (De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius) adı ile 1791 yılında yayımladığı eseriyle, elektrofizyoloji tarihinde köşe taşı niteliğindeki ilk kıvılcımı (spark) çakmış olacaktı.[11,13,14] Galvani bu eserinde, deniz canlılarının dışındaki canlıların da elektrik üretebileceğini ve bunun uyarılabilir dokuların işlevi açısından çok önemli olduğuna işaret ediyordu.

Şekil 1. Luigi Galvani ve eşi Lucia Galeazzi Galvani'nin çağdaş portreleri. Lucia Galeazzia, Luigi'ye deneylerinde hem destek hem de yardımcı oldu. Çalışmalarının bir kısmı Bologna Üniversitesinin saygın bilim insanlarından biri olan Lucia'nın babası Prof. Domenico Gusmano Galeazzi'nin evinde gerçekleştirildi.[11, 12]

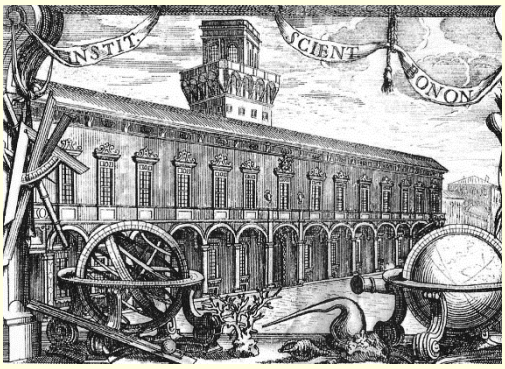
Galvani'nin Eğitimi ve Mesleki Gelişim Süreci

Galvani, İtalya'nın Bolonya kentinde doğmuş, tüm yaşamı burada geçmiş ve tüm değerli çalışmalarını burada gerçekleştirmiştir. Öğrenci iken teoloji okuyup keşiş olarak hayatını sündürmeyi planlarken, kilisenin sanat ve bilim üzerindeki etkisi onu, felsefe ve tıp eğitimi almaya yönlendirmiştir. Her iki alandaki diplomasını da 1759 yılında aynı gün almıştır.[3,6] Öğrenciliği sırasında, kimya dışında döneminin önemli hocalarından tarih ve fizik derslerini de aldı. Dört yıl süren tıp eğitimi ne yazık ki teorik ders ağırlıklı idi ve başlıca takip edilen metinler arasında Hippocrates, Galen ve İbn-i Sînâ'nın kitapları ve öğretileri bulunmaktaydı.[1] Anatomi bilimi ile deneysel kimya ve fizik uygulamalarını da harmanlayabilen hocaların eğitiminden geçmiş olması belki de Galvani'nin en önemli şansı olmuştur.

Galvani'nin şansı olarak görülen bu değerli bilim insanları arasında; anatomi, fizyoloji ve kimya profesörü **Jacopo Bartolomeo Beccari** (1682-1766), modern doğum uzmanlığının öncülerinden cerrahi profesörü **Giovanni Antonio Galli** (1708-1782), anatomi ve genel tıp profesörü olan **Domenico Gusmano Galeazzi** (1686-1775) de bulunmaktaydı. Medikal elektrik uygulamalarına önemli katkıları olan fizikçi **Laura Maria Caterina Bassi** (1711-1778) ve bir hekim olan kocası **Giuseppe Veratti** (1707-1793) de Galvani'nin mezuniyet sonrası eğitim aldığı bilim insanları arasındadır. [1,15]

Galvani mezuniyetten sonra bir müddet Galli'nin asistanlığını yapmış, kemiklerin oluşumu ve gelişimi konusundaki tez çalışmasından sonra cerrahi alanında ders vermek üzere Bolonya Üniversitesinde (***Şekil 2***) kalıcı öğretim görevlisi kadrosu ile göreve başlamıştır.[15] Galvani, üniversiteden hocası olan Galeazzi'nin kızı Lucia ile 1762 yılında evlendi. Galeazzi'nin evine yerleşti ve hocasının evinde yürüttüğü araştırmalarına yardımcı olurken muhtemelen, kendisinin gelecekteki araştırmaları için de çok değerli çıkarımlar yapacaktı. Kariyerindeki önemli dönüm noktalarından biri de 1766 yılında gerçekleşti. Üniversitedeki cerrahi öğretim görevliliğinden Bolonya Bilimler Enstitüsünde anatomi alanında Bilimler Akademisi Üyeliğine atandı. Galvani, 1769 yılında Galeazzi'nin önce yardımcısı olarak sonra da 1775 yılında, Galeazzi'nin ölümü üzerine, kendi evinde uygulamalı "*insan anatomisi*" derslerini vermek üzere üniversiteye profesör olarak atanacaktır.[1]

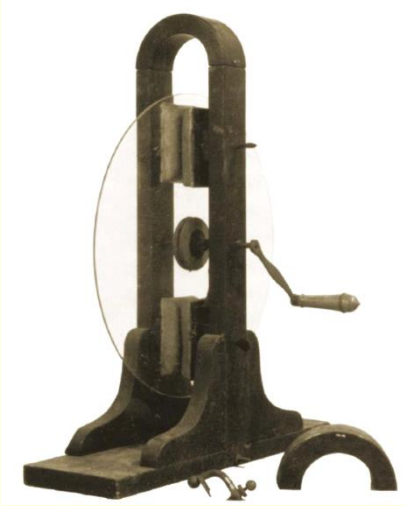
A



B

Şekil 2. Bolonya – Galvani Meydanı **- Bolonya Bilimler Ensititüsü** binası ve meslek hayatı boyunca görev yaptığı üniversite binasının önündeki meydana Galvani'nin anısına dikilen heykeli (A). Bugün bile, 250 yıl sonra, şehirde dolaşırken, sanki Galvani'nin zamanı yaşıyormuşuz izlenimi almak mümkündür (B): Üniversiteye gidip gelirken, Galvani'nin defalarca geçtiği meydan, bir tarafında ders verdiği, demonstrasyon ve disekesiyon yaptığı anatomi laboratuvarı bulunmaktadır.[1]

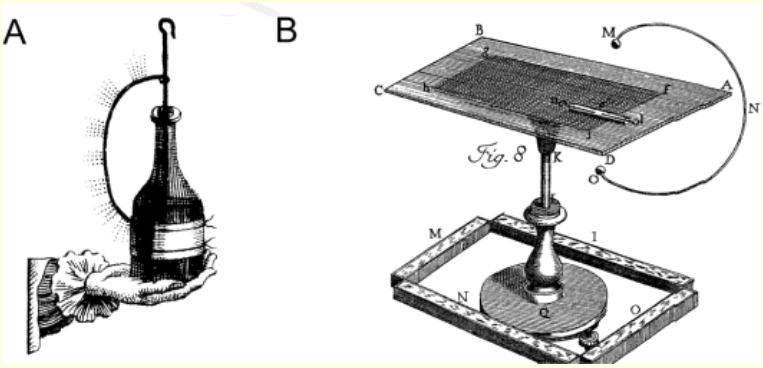
Galvani için burası, bilgi birikimini oluşturduğu ve yıllar sonra şahit olacağı rastlantısal olaylara bilimsel yorumlarda bulunabilecek deneyimlerini kazandığı yer olacaktır. Kendisi yeni atanmış bir profesör olarak karşılaştırmalı anatomi çalışıyordu. Hayvan türleri arasında dokuların yapısal benzerlikler ve farklılıklarını araştırıyordu. Bazı anatomik bölgelerin incelenmesinde mikroskop desteğinin gerekli olduğu bu çalışma konusu birçok profesyonel ve amatörün ilgisini de çekmekteydi.[3] Bu süreçte, elektrik olayı ile ilgili gelişmeler de üniversite tarafından ilgi ile izleniyordu. On sekizinci yüzyılın ilk yarısında geliştirilen yeni elektrikli cihazlar bilim insanlarının ilgisini çeken, bir anlamda da "moda" olan cihazlardı.[18] Bunlardan biri olan, kehribar örneğinde olduğu gibi sürtünme (friksiyon) yoluyla statik (durgun) elektrik üretebilen "**friksiyon makinesinin**" geliştirilmesi, diğer pek çok alandaki çalışmaların da başlangıcını oluşturmuştur (***Şekil 3***).[7,10]



Şekil 3. Galvani'nin, ölümünden hemen önce asistanlarına paylaştırdığı ve neredeyse tüm mirasını oluşturan laboratuvarında kullandığı cihazlardan biri olan statik elektrik makinesi.[7]

Bilimdeki gelişmenin kırılma noktalarından bir diğeri ise, bu süreçte Hollandalı fizikçi **Pieter van Musschenbroek** (1700-1748) tarafından 1740 yılına geliştirilen "**Leyden Şişesi**" (***Şekil 4.A***) sayesinde statik elektriğin depolanabilmesinin başarılması olmuştur.[7] Leyden şişesi, içinde iletken bir sıvı (ya da bir metal parçası) bulunan ince boyunlu bir şişenin dış yüzeyine kalaydan yapılmış bir levhanın yerleştirilmesi ile oluşturulan bir düzenek idi. Günümüzde kondansatör olarak bilinen bu düzenek yük depolayabilen bir elektrik elemanıdır.[3,16] Düzenek, şişenin içi ile dışı arasında iletken bir bağlantı kurulana kadar elektrik yükünü depolayabilmekte (şarj olma durumu), bağlantı kurulduğunda ise depolanan bu yük iletken

üzerinden boşaltılabilmektedir (deşarj olma durumu). Yine bu dönemde **Benjamin Franklin** (1706-1790), elektrik depolamak için "**Franklin square**" (***Şekil 4.B***) adını verdiği bir çeşit kondansatör geliştirmişti.[3,16,17] Franklin daha sonra da meşhur uçurtma deneylerini (***Şekil 5***) takiben, 1752 yılında yayımladığı "*Experiments and Observations on Electricity, Made at Philadelphia in America*" başlıklı kitabında bir doğa olayı olan yıldırımın da elektrik ile benzer özelliklere sahip olduğu önermesini yapmıştı.[1]



Şekil 4. Leyden şişesi (A) ve "Franklin square" kapasitörü (B); her iki düzenek de depolanan yükleri boşaltmak için kullanılan arkları ile birlikte görülmektedir: Elektrik boşaltma işlemi zıt yüklerin biriktiği metalik plakaları arklar ile bağlayarak yapılmaktadır. Leyden şişesinde, iç iletkende biriken elektrik yükü (akım) şişenin ağzından dışarı çıkıntı yapan "iletken" içinden dış iletkene akmaktadır.[17]

Şekil 5. Benjamin Franklin'i bir doğa olayı olan yıldırımın elektrik ile benzer özelliklere sahip olduğunu önermesine götüren uçurtma deneylerini yaparken resmedilmiş.[18]

Franklin teorisi İtalya'da çok hızlı yayılmıştı. Galeazzi'nin laboratuvarı, Laura Bassi öncülüğünde Franklin ile doğrudan ilişki kurarak İtalya'nın bu alanda en iyi teknolojiye sahip laboratuvarının Bolonya'da kurulması sağladı. Dolayısıyla Galvani, özellikle mekanik ve elektrik ekipmanlarıyla deneysel çalışmalar da yapma şansına sahip oldu.[1] Bu dönemde Galvani, bir doğum hekimi olarak çalışıyor olsa da akademik çevresi, aldığı kimya ve fizik eğitimleri aracılığıyla elektrik olaylar ile ilgili deneyimlerini güncel tutabiliyordu. Elektrik kavramlarıyla ile ilgili bilgi birikimi ve cihazların çeşitliliği, dönemin bilim adamları için bu alandaki çalışmaları giderek daha da kolay ve ilginç kılıyordu. Laura Bassi'nin kocası Veratti'nin 1748 de yayımladığı kitapta paralizi, siyatik ağrısı, sağırlık ve romatizmal ağrılar gibi birçok rahatsızlığın tedavisinde elektriğin başarılı uygulamalarını aktarması, Galvani'nin de bu konuya karşı ilgisini artırmıştı.[1] Bu ilgi Galvani'yi, bu dönemde "*medikal elektrik*" olarak bilinen ve çok bakir bir alan olan elektriğin tıbbi tedavideki kullanımına yöneltecekti. Bununla birlikte, elektriğin tedavi amaçlı kullanımının başarılı sonuçları olsa da Galvani de Veratti gibi, fizyolojik etki mekanizmalarının da çok iyi aydınlatılması gerektiğine inanıyordu.[1]

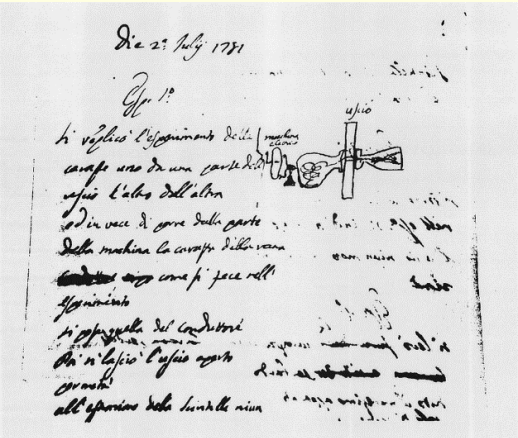
Galvani, İsviçre'li fizyolog **Albrecht von Haller**'in (1708–1777) 1750'li yıllarda yazdığı "*Halleriyen İrritabilite Üzerine*" başlıklı makalesini 1772 yılında okudu.[1] Makale o dönemde Avrupa'da ve özellikle Bolonya'da büyük ilgi görmüştü, birçok takipçisi deneyleri tekrarlayarak Haller'i teyit etti. Bir seri deneysel çalışma sonucunda Haller, hayvanlarda iki farklı özelliğin varlığını belirlemişti; "*uyarılabilirlik"* (irritability) ve "*duyarlılık"* (sensibility). Uyarılabilirliği, uyarıldığında kasılan kas liflerine ait bir özellik olarak duyarlılığı ise, sinirlerle ilişkili olmak üzere uyarıldığında vücudun bazı bölgelerinde ağrı duyumu oluşturması olarak tanımlamıştı. Bu ikisi arasındaki bariz ayrım nedeniyle Haller, geleneksel görüş olan sinirlerin kas kasılmasındaki rolünü reddediyordu.[1] Haller'in reddettiği hakim görüşe göre ise, beyinde üretilen "*sinir sıvısı*" ("*nervous fluid"* ya da "*animal spirit"*) adı verilen sıvının beyinden çevreye (perifere) sinir lifleri içinde taşınarak kas kasılmasına neden olduğu veya tersi yönde taşınarak duyumu oluşturduğu (*nöroelektrik teori*) şeklinde idi. Halleriyen yaklaşım, sinir sıvısının sinir içerisinde kasa kadar özgün bir yol izleyemeyeceğini iddia ediyordu. Dolayısıyla, ancak kasın uyarılabilirlik özelliğini tetikleyebilen bir uyaran, kasta kasılmaya neden olabilirdi.[1]

Halleriyen teori 20 yıl boyunca nöroelektrik teoriyi gölgede bıraksa da 1770'li yıllarda İngiltere'de **John Walsh** (1725–1795), **John Hunter** (1728 –1793) ve **Henry Cavendish** (1731–1810) gibi araştırmacıların elektrikli torpil (torpedo) balığı üzerinde yaptığı araştırmalarla yeniden ve bu sefer daha güçlü bir şekilde gündeme geldi. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular da bazı hayvanların içsel elektriğe sahip olabileceğine işaret ediyordu.[1] Bu dönemde, Galvani de kurbağada kalp hareketleri ile spinal siniri ilişkilendiren çalışmaları ile nöroelektrik teoriyi araştıranlar arasındaydı.

Deneysel Araştırma Dönemi

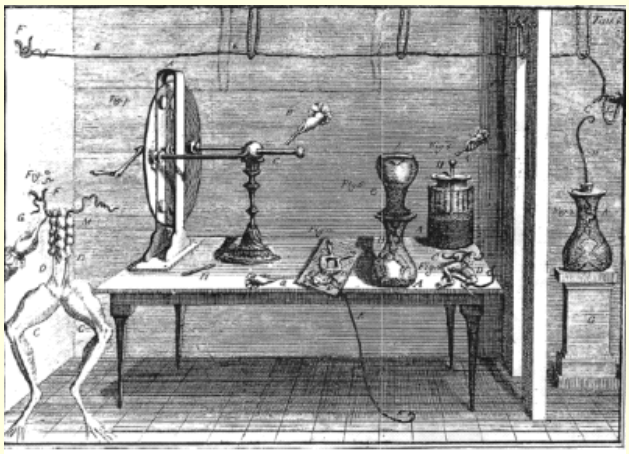
Hekim olan Luigi Galvani, 1770'li yılların sonuna gelindiğinde elektriğin hayvanlar üzerine etkisi, özellikle de sinir ve kas dokusu arasındaki etkileşim ilgisini çekmeye başlamıştı. Çalışmalarını, evinde oluşturduğu laboratuvarda karısı **Lucia Galeazzi Galvani**'nin (1743-1788) yanı sıra iki yeğeni **Giovanni Aldini** ve **Camillo Galvani** (1765-1824) ile birlikte sürdürüyordu. [14,18] Galvani, kendisini bekli de sinirde iletim ve canlı elektriği kavramlarının buluşuna götürecek olan en kritik gözlemlerini burada yapacaktı.

Galvani'nin sinir-kas fizyolojisi üzerine sürdürdüğü deneysel çalışmalarındaki yaklaşımı aslında, Halleriyen teorisi ve nöroelektrik görüşe ait deneyimlerin başarılı bir sentezini içermekteydi.[1] Galvani, deneylerinde bilinmeyeni araştırırken şu üç prensibi kendisine şiar edindiği, 1780'lerden itibaren tuttuğu laboratuvar notlarından (***Şekil 6***) açıkça anlaşılmaktadır; a) deney planlaması ve deney düzeneğinin kurgusunda beklenmedik olayları dışlayacak şekilde planlamaya özen göstermek, b) yöntemini olası tüm değişkenlerin etkisini gözlemeye imkan verecek şekilde tasarlamak, c) standart deney koşullarını oluşturmak.[1]



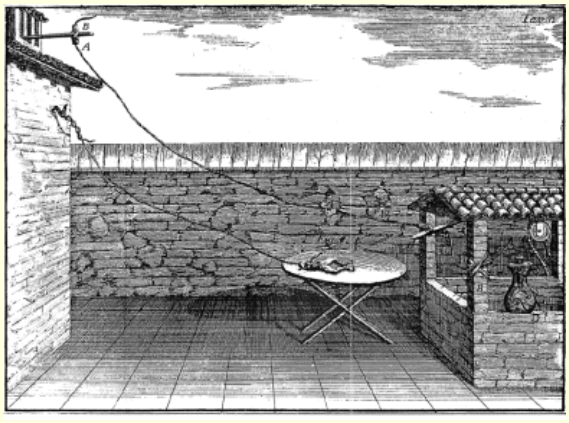
Şekil 6. Luigi Galvani'nin çalışmalarındaki titizliğini göstermesi açısından, kendisi tarafından yazılmış orijinal laboratuvar notlarından bir örnek: 2 Temmuz 1781 tarihli deney günlüğü.[1]

Galvani, canlı elektriği çalışmalarına laboratuvar kayıt defterinde not edildiği gibi tam olarak 8 Kasım 1780 tarihinde başlamıştır. Laboratuvar kayıtlarından, onu buluşa götürecek en önemli ilk deneyini 26 Ocak 1781 tarihinde yaptığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, asistanı ve aynı zamanda karısı olan Lucia'nın, masadaki statik elektrik makinesinin aktif olduğu bir anda kurbağa üzerinde çalışırken, makas ile sinirine dokunması sırasında kurbağa bacağındaki kasılmalara/seğirmelere şahit olduğu anlaşılmaktadır. [1,3,7,18] Deney esnasında diseksiyonu kim yapıyordu, Luigi Galvani mi yoksa karısı Lucia mı, friksiyon makinesini kim çalıştırıyordu, makas ile sinire kim dokunuyordu ya da deneyin hedefi ne idi, bunlar günümüzde bilinmiyor. Ancak bilinen şu ki, tam da friksiyon makinesinden ya da masadaki Leyden şişesinden kaynaklanmış olan elektrik deşarjı açığa çıktığı anda bacakta kasılmanın/seğirmenin gerçekleşmiş olmasıydı (***Şekil 7***).[11,12] Luigi ve Lucia için ölü kurbağa bacağındaki bu seğirme beklenmeyen/planlanmamış bir gözlemdi. Deney tekrarlandı ve olay yeniden teyit edildi. Sonraki çalışmalar, kasılma şiddeti ile deşarj büyüklüğü arasında zayıf da olsa bir korelasyonun varlığını da işaret ediyordu.



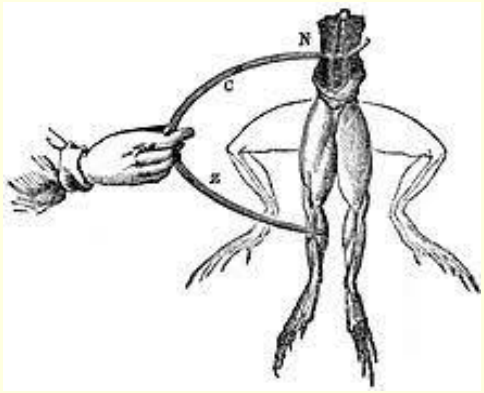
Şekil 7. Galvani'nin Commentarius adlı eserinden alınmış laboratuvarına ait bir gravür. [11,12]

Benjamin Franklin'in önceki deneylerinden etkilenen Galvani, friksiyon makinesinde olduğu gibi atmosferik elektriğin de kasta benzer bir etki oluşturup oluşturmayacağını gözlemek istedi. Franklin deneylerinde, yağmurlu havada ıslanan uçurtmanın, gök gürültüsünü takiben havadaki elektriği çektiğini göstermiş idi.[6] Benzer şekilde, Galvani de kurbağanın spinal kanalına uzun iletken bir tel yerleştirdikten sonra deney düzeneğini, kapalı bir havada evinin terasında metal bir askı üzerine yerleştirdi ve bekledi (***Şekil 8***). [6,11,16] Her gök gürültüsü sonrasındaki yıldırım çakmasına karşılık bir kas kasılması oluştuğunu gözlemledi.[3,24] Aksini de, yani güneşli günlerde kasta herhangi bir kasılmanın gerçekleşmediğini de gözlemledi. Tekrar deneyleri sonucunda Galvani'nin zihninde soru biraz daha netleşti: "*kasılmaya neden olan elektriğin kaynağı ne olabilir?*"



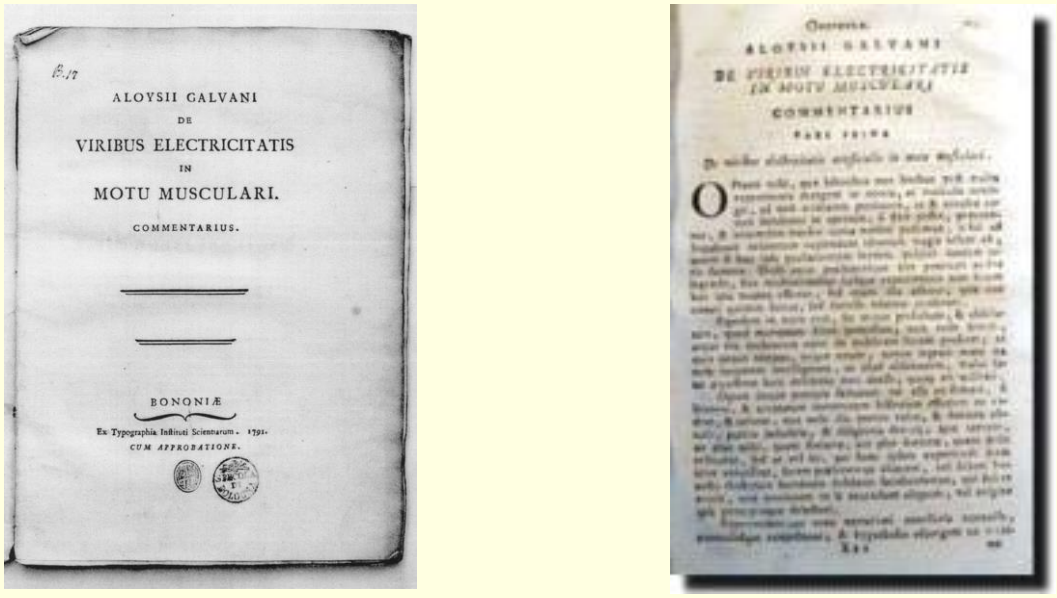
Şekil 8. Galvani'nin atmosferik elektrik ile kurbağa kası uyarılma deneyi. [6,11,12]

Bu düşünceler ile kurbağa preparatını askıdan almaya çalışırken spinal kanaldaki telin metal askıya temas etmesiyle birlikte kasta kasılmaların olduğunu gözlemledi. Bu olay da planlanmayan/beklenmeyen başka bir gözlemdi. Galvani bu gözlemini de tekrarlayarak teyit etti; ne zaman ki omurilik ile kas arasında metalik bir temas sağlanıyor o anda kasılma gerçekleşiyordu. [3,7] Galvani'nin bir sonraki adımı, sinir ile kas arasında yay şeklindeki bir metal ile köprü kurarak kas kasılmalarını incelemek oldu (***Şekil 9***). Bu deney, kasılmalar için dışarıdan bir elektrik kaynağına gerek olmadığını da gösterdi. [3,19] Galvani'nin hipotezini destekleyen bu bulgu, sinir ve kas dokusunun kendi fonksiyonu için gerekli elektriği de kendisinin üretebileceğini gösteriyordu.



Şekil 9. Galvani'nin tartışmalı deneyi; iki farklı metal (bu metaller genellikle demir ve bronz veya demir ve gümüş idi) parçası kullanarak bir kurbağanın bacağını omuriliğine bağlaması ile kasılmaların gerçekleşmesi. Galvani, elektriğin kurbağaya özgü olduğu ve metallerin basitçe iletken bir kanal görevi gördüğü sonucuna vardı.[11]

Galvani bulgularını, 1791 yılında kısaca "*Commentarius*" olarak anılan eserinde yayımlayarak (***Şekil 10***), kasılma için gerekli kuvvetin hayvanın kendi dokularından kaynaklandığı (vital force) sonucunu öneriyordu. Galvani'nin eserindeki yorumu; "*metal iletken varlığında, kastaki içsel elektrik akışa geçerek kasta kasılmaya neden olur*" şeklinde idi. Galvani ayrıca, kastaki elektriğin kas lifinin iç ve dış yüzeyleri etrafında zıt yükler halinde, aynı Leyden şişesinin iç ve dışındaki iletkenler üzerinde olduğu gibi depolandığını öneriyordu. Bu dikkate değer bir spekülasyondu. Nitekim, zarın iki tarafında depolanmış bu potansiyelin (dinlenim membran potansiyeli) ölçülebilmesi için üzerinden neredeyse bir asır zaman geçmesi gerekecekti.


ALOYSII GALVANI
DE
VIRIBUS ELECTRICITATIS
IN
MOTU MUSCULARI.
COMMENTARIUS.
BONONIÆ
Ex Typographia Instituti Scientarum. 1791.
CUM APPROBATIONE.

Şekil 10. 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 başlık sayfası.[1]

Bu çalışmalarına atfen, çevresinde "**kurbağayı dans ettiren usta**" olarak anılmaya başlandığı iddia edilse de ne Galvani'nin kendi yayınlarında ve ne de Bolonya Bilimler Enstitüsü yayınlarında bunu çağrıştıracak bir ifadeye rastlanmamıştır.[19] Galvani'ye atfedilen bu ifade, onun ölümünden sonra 19. yüzyılın birinci yarısında gerçekleştirilen teatral ve provokatif "yeniden canlandırma" deneyleri ve **Mary Shelley**'in (1797–1851) "*Frankenstein; or The Modern Promethous*" başlıklı bilim-kurgu romanındaki efsanesinin bir yansıması olarak değerlendirilmektedir.[16,20] Dolayısıyla, muhtemeldir ki bu ifade Galvani'nin çalışmalarını hikayeleştiren oyun ve roman yazarlarının katkısıyla sonradan geliştirilmiş bir söylemdir.

Biyoelektrisite Öyküsüne Katkı Yapan Kadınlar

Biyoelektrisite öyküsünün yazımında çok özel yerleri olan, belki de en kritik katkıyı yapan iki değerli kadın bilim insanının özellikle anılmasın önemli olduğuna inanıyoruz. Bunlardan ilki olan **Laura Maria Caterina Bassi** (1711–1778), kadınlara kapalı batı üniversitelerinde profesör ünvanı elde eden ilk kadın bilim insanıdır (***Şekil 11***).[28] Roma mitolojisinin akıl, hikmet, savaş ve eğitim tanrıçası "*Minerva*" olarak ta tanımlanan Bassi rasyonel bir yaklaşımla, dönemin erkek egemen bilim camiasında varlığını evli bir kadın olarak sürdürme kararı alarak eşini iş arkadaşları arasından seçti.[10] Eşi Giuseppe Veratti, üniversitede bir hekim olarak araştırmalarını sürdürse de evlendikleri 1738 yılından bir süre sonra araştırmalarında karısını destekledi ve ortak çalışmalar yapmaya başladılar.[9] Kamu kurumunda eğitim ve araştırma yapma şansı verilmeyen Bassi, 1749 yılında kocasının desteği ile özel deneysel fizik araştırmaları okulu ve evinde bir laboratuvar kurdu. Bassi'nin kurduğu bu iki lokal kurum sonradan, Bolonya'da modern bilimin yapıldığı ve yayıldığı adresler olacaktı. Nitekim aralarında Luigi Galvani'nin de bulunduğu birçok genç araştırıcının yetiştiği bu okul sonradan bir enstitüye dönüşecektir.[9,10] Uzmanlık alanları birbirinden çok farklı olsa da Bassi ve Veratti çiftinin birlikte çalışma iradeleri, kendi alanlarında her ikisinin de daha çok gelişmesine neden olmuştur. Her ikisinin birlikte ya da ayrı olarak yapmış oldukları çalışmaların, İtalya'daki erken dönem canlı elektriği tartışmalarından Galvani'nin deneysel çalışmalara başladığı 1780'lere kadar olan döneme çok önemli katkıları olmuştur.[10]

Şekil 11. Laura Bassi'nin 1732 yılına ait portresi.[21]

Diğer önemli isim ise Luigi Galvani'nin karısı ve kimilerine göre bir "dahi" olan **Lucia Galeazzi Galvani**'dir (1743-1788).[12,15] Luigi Galvani'nin "*Commentarius*" kitabındaki anlatımlarından, gözlemlerini ve deneysel çalışmalarını evlerindeki laboratuvarlarında karısı Lucia ile birlikte yaptığı bilinmektedir (***Şekil 12***). Luigi'nin laboratuvarda olmadığı bir çalışma sırasında, statik elektrik makinesine temas ile eşzamanlı olarak meydana gelen kas kasılmasını/seğirmesini ilk fark eden kişinin Lucia olduğu ve bu ilginç gözlemini hemen eşi ile paylaştığı iddia edilmektedir.[11,18] Lucia ve Luigi Galvani'nin diğer bazı çalışmalarını yine Bolonya Üniversitesinde anatomi profesörü ve bilim akademinin saygın bir üyesi olan Lucia'nın babası Domenico Gusmano Galeazzi'nın evinde yaptıkları bilinmektedir. Dolayısıyla, ilk gözlemlerinden elde ettikleri bulguları Lucia'nın babası ile birlikte yorumlamış olabilmeleri de söz konusu edilmektedir.[12]

Şekil 12. Lucia Galeazzi Galvani'nin kendi ve eşi Galvani ile birlikte evlerindeki laboratuvarlarında deney yaparken resmedilmiş çağdaş portreleri.[22]

Lucia'nın, kocasını evlerinde sürdürdüğü bağımsız araştırmalarında her koşulda cesaretlendirdiği ve ölümüne kadar ona yardımcı ve yönlendirici olduğu bilinmektedir. O, Bolonya Bilim Akademisinin saygın bir üyesinin kızı olarak bilim ortamında yetişmiş bir insandı.[12] Ancak zamanın gelenekleri gereği, bir kadın olarak laboratuvarında gerçekleştireceği hiçbir bilimsel çalışmayı kendi adına tescil ettiremeyeceğinin de farkında olarak geri planda kalmayı kabullenmiştir.

Galvani – Volta Rekabeti

Galvani'nin kısaca "*Commentarius*" olarak anılan ilk kitabı akademik çevrelerde çok iyi karşılanmıştı. Kitap, Bolonya'dan 200 km uzakta bir diğer tarihi öneme sahip İtalyan şehri olan Pavia'ya ulaştığında, 46 yaşındaki Alessandro Volta üniversitede fizik profesörü ve aynı zamanda uluslararası tanınırlığı olan saygın bir bilim adamıydı. Volta, İtalya'nın kuzeyindeki dağlık bölgede yer alan göl kıyısındaki Como kasabasında aristokrat bir ailenin çocuğu olarak dünyaya gelmişti (***Şekil 13***). Dört yaşına gelene kadar konuşamamıştı ancak, sonrasında her şey çok hızlı gelişecekti. O da Galvani gibi keşiş okuluna gitmiş fakat dönemin popüler konusu olan elektrik olayı onun da ilgi alanına girince iyi bir fizikçi olma yolunda ilerleme kararı almıştı.[3] Daha 18 yaşında iken çalışmaları dikkat çekmeye başlamış ve önde gelen bilim adamları ile görüş alış-verişi yapmaya başlamıştı. Yirmi yaşında hala Como'da iken, ilk buluşu olan "*kesintisiz indüksiyon ile statik elektrik üreten cihaz"* (perpetual electrophorus) duyurusunu yapmıştı. Bu cihaz, işlevsel olarak Franklin kondansatörü ile Leyden şişesine benzeyen ve elektriksel yük depolama özelliğine sahip bir cihaz olmakla

birlikte, tam boşalmadan yeniden doldurulabilir olması nedeniyle onlardan ayrışmakta idi.[22] Volta'nın elektriğe ilgisinin yanında, metan gazının keşfi, atmosferin kompozisyonu ve suyun yüzey gerilimi ile ilgili çalışmaları da bulunmakta idi.

Şekil 13. Doğum yeri Como şehir merkezi: adının verildiği meydan "Piaza Volta" da anısına dikilen heykel.

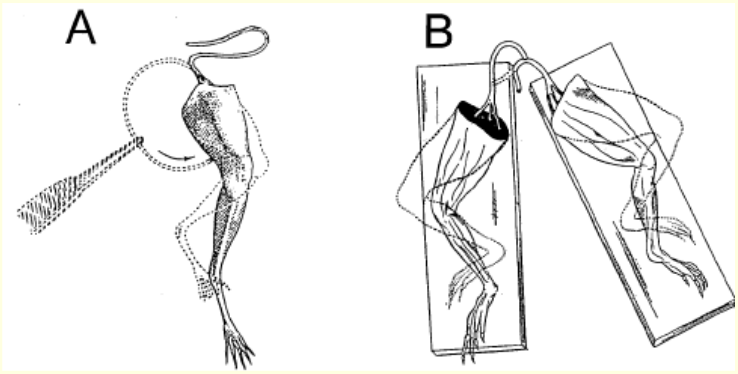
Commentarius'tan çok etkilenen Volta, bazı deneyleri tekrarlayarak bir anlamda Galvani'nin tanınırlığına katkıda bulunurken, zamanla bilimsel olarak birbirlerini besleyen sıkı birer rakip haline de dönüşeceklerdi. Nihayetinde Volta, bilim tarihinin önemli tartışmalarından birini başlatmış da oluyordu.[12,23] Pavia o dönemde, mücadele, kavga ve savaşlara alışkın bir şehirdir. Komşuluğundaki Lombardia bölgesi (Milano civarı), tarihteki önemli mücadelelerden biri sayılan, 1525 yılında Fransız kralı I. Francis'in İspanya imparatoru V. Charles tarafından teslim alınmasına şahit olmuş bir şehirdir.[3] Şüphesiz ki, Galvani ile Volta arasındaki bu sert akademik mücadele o dönemlerdeki diğer mücadeleler kadar etki yaratmayacaktı.

Volta, Commentarius'ta öne sürülen, kasta kasılmaya neden olan elektriğin kaynağı konusunda Galvani ile aynı görüşte değildi.[21] Volta, iki farklı iletken metalden (bi-metalic) yapılmış yay şeklinde bir uzatmanın kurbağa bacağında neden olduğu kasılmanın, tek bir cins metalden yapılmış yayın neden olduğu kasılmaya göre daha etkin olduğunu gösterdi.[6,8,12] Volta çalışmalarında, Galvani'nin iddia ettiği gibi hayvanın kendi elektriğini kendisinin üretmediğini, birbiriyle değmede olan farklı iki metalin uçlarında oluşan elektrik yükünün iletken yapıdaki hücrelerarası ortamda iletilerek kasta kasılmaya neden olduğunu iddia ediyordu. Volta'nın itirazı, bir başka deyişle, sinir sıvısının (Galvanik sıvı) elektrik üretme özelliğinin olmadığı aksine, elektriğin iki farklı metalin (örneğin gümüş ve bakır) dokuyla tam temas ettiği noktada oluşması nedeniyle bunun "**kontakt elektrik**" veya "**metalik elektrik**" olarak ifade edilebileceğini iddia etmekte idi.[8,24]

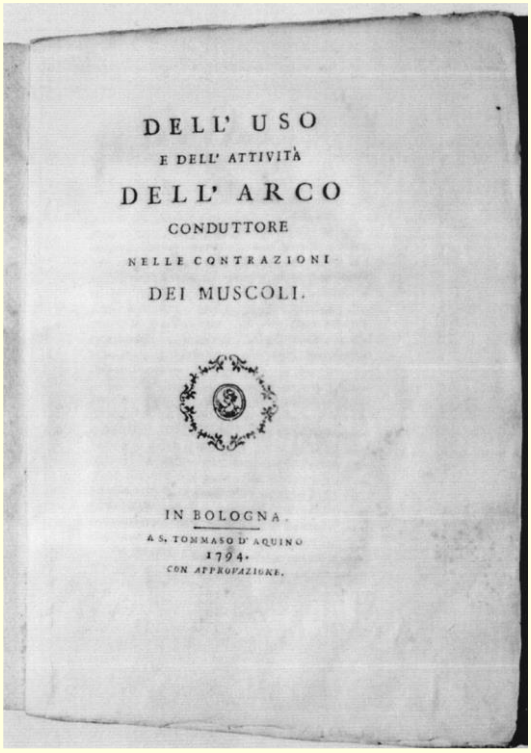
Volta, Galvani'nin önermiş olduğu kas kasılması için gerekli enerjinin kasın kendisinden kaynaklandığı şeklindeki tezinin doğru olmadığını öne sürerken, bi-metalik iletkenin iki ucunun birden sinire temas etmesi halinde de kasılmanın gerçekleşebileceğini deneysel olarak gösterdi.[3,6,23] Bi-metalik iletken uçlarının dil ucuna değdirildiğinde, herhangi bir kas dokusunun katılımı olmadan, duysal sinirlerde uyarılma olabileceği de gösterilmişti. Volta'ya göre kasılmaya neden olan elektrik enerjisinin, hücrelerden kaynaklanmadığı aksine dış kaynaklı "*eksternal*" ya da "*metalik kontakt*" enerjisi olarak tanımlanabileceği yönünde idi. Volta

bu gözlemlerini "*Canlı Elektriği Üzerine İkinci Değerlendirme*" (*Memoria seconda sull'elettricita animale - Second Memoir on Animal Electricity)* başlığıyla 1792 yılında yayımladı. [7,8,24]

Volta'nın bu eleştirisi üzerine Galvani, torpil balığındaki (torpedo) güçlü elektrik yükü boşalımlarının (deşarj) da kurbağa sinir ve kas dokusunda gerçekleşen deşarj ile aynı prensibe uyduğunu göstermek için, İtalya sahillerinden topladığı torpil balıkları üzerinde yaptığı deneyler ile teorisini desteklemeye çalışmıştır. Bu süreçte Galvani, bacak sinirini serbestleştirdikten sonra kesik ucunu doğrudan kasa temas ettirmek suretiyle bir kasılma oluşturulabileceğini göstermiştir.[3,11,12] Hızlıca ve akıllı bir yaklaşımla yaptığı çalışmalarda metalik temas olmadan, siyatik sinirde oluşan deşarjın (*internal elektrik*) kasılmayı başlatabileceğini gösterdi (***Şekil 14.A***). Galvani, Volta'nın karşıt görüşüne yanıt olarak ortaya koyduğu bu bulgusunu, "*Kas Kasılmasında İletken Yay Kullanımı ve Etkisi*" (Dell'uso e ell'attivita dell'arco conduttore nelle contrazioni dei muscoli - Of the Use and Activity of the Conducting Arc in the Contractions of the Muscles) başlıklı çalışmasıyla (***Şekil 15***) 1794 yılında yayımladı.[1,16] Bu güçlü cevaba rağmen, Volta hala ikna olmamıştı ve görüşünde ısrarcı idi. Sinir ve kas dokularının da farklı materyaller olduğunu ve bi-metalik iletken gibi davrandığını iddia edecekti.[11]



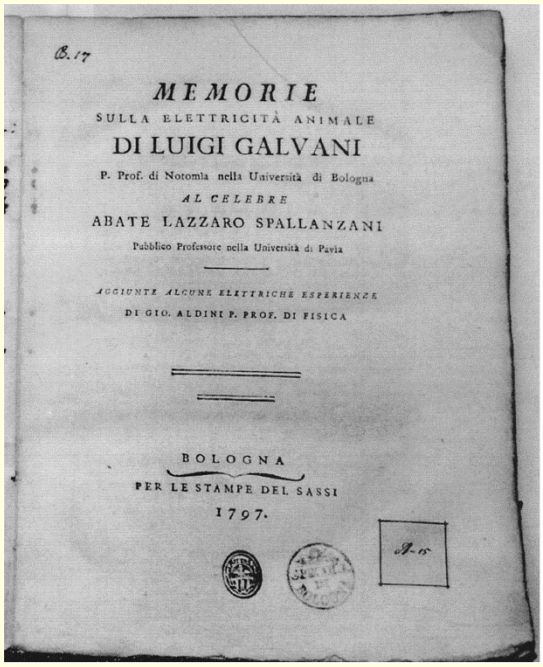
Şekil 14. Galvan'nin bi-metal olmadan gerçekleştirdiği kasılma deneyleri. (A) 1794 deneyi: Sinir kesik yüzeyi kasa dokunduğunda bacak kasılmaktadır; (B) 1797 deneyi: sağ siyatik sinirin kesilmiş yüzeyi sol siyatik sinirin sağlam yüzeyine dokunduğunda, her iki bacak da kasılmaktadır. [11,12]


DELL' USO
E DELL' ATTIVITÀ
DELL' ARCO
CONDUTTORE
NELLE CONTRAZIONI
DEI MUSCOLI.

IN BOLOGNA.
A S. TOMMASO D' AQUINO
1794.
CON APPROVAZIONE.

Şekil 15. Galvani'nin 1794 yılında yayınladığı "Trattato dell'Arco Conduttore" isimli çalışmasının giriş sayfası.[1]

Volta'yı sonradan elektrik bataryası buluşuna götürecek olan bu iddia ile bilim dünyası çok kısa bir süre içinde farklı isimlerle tanımlanan iki kampa bölündü: "*canlıda elektrikçiler*" ve "*farklı metalciler*" veya "*metalik elektrikçiler*" ya da "*bi-metalik elektrikçiler*". Galvani bu kez, 1797 yılında yayımladığı "*Canlı Elektriği Üzerine Değerlendirmeler*" (Memorie Sull'Elettricita` Animale - Memoirs on Animal Electricity*)* adlı eseriyle nihai kanıtlarını ortaya koydu (***Şekil 16***).[1] Bu kez iki adet izole kurbağa bacağı preparatı hazırladı. Sağ bacak siyatik sinirinin kesik ucunu diğer sinirin sağlam yerine, sol bacağınkinin kesik ucunu ise yine diğer sinirin sağlam yerine temas ettirerek her iki kasta da kasılma olabileceğini gösterdi (***Şekil 14.B***). Galvani'nin yapmış olduğu bu son ve çığır açan deney sonuçları, herhangi bir metal veya farklı doku teması olmaksızın da kasılmanın oluşturulabileceğinin, kasılmaya neden olan elektrik deşarjın dış kaynaklardan değil de sinirin kendisinden kaynaklandığının ve canlının içsel enerjisinin (animal electricity) varlığının kesin kanıtı olarak kabul edilmeliydi. Galvani bu son yayınını dönemin en etkileyici ve saygın bilim insanı olan Lazzaro Spallanzani'ye (1729 –1799) atfetti. Spallanzani, başından itibaren "canlı elektriği" teorisini desteklemekteydi ve bu, Volta'nın eleştrileri karşısında Galvani'nin deneysel çalışmalarını sürdürmesi için çok önemli bir motivasyon kaynağı oluşturmuştu.[1]


B. 17

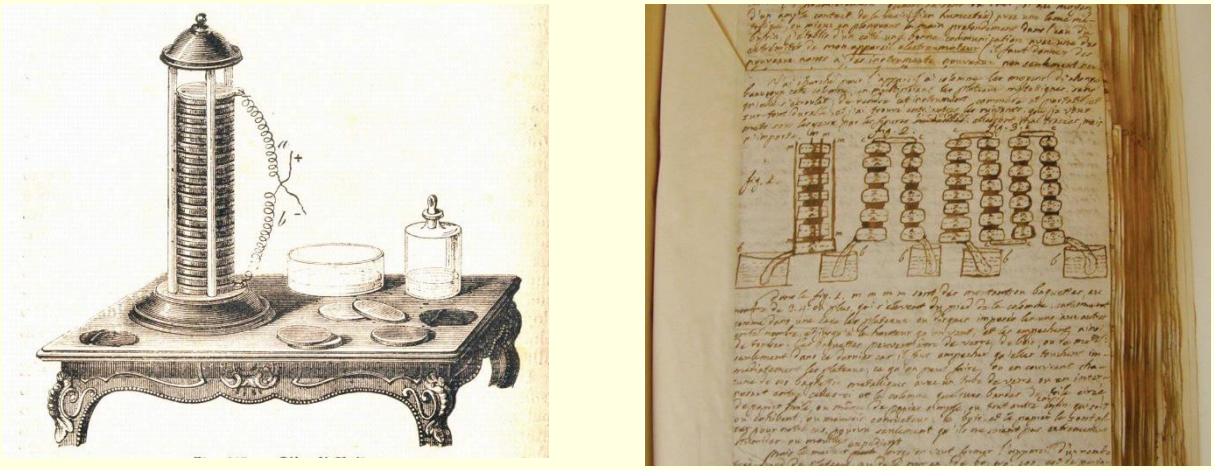
MEMORIE
SULLA ELETTRICITÀ ANIMALE
DI LUIGI GALVANI
P. Prof. di Notomia nella Università di Bologna
AL CELEBRE
ABATE LAZZARO SPALLANZANI
Pubblico Professore nella Università di Pavia

AGGIUNTE ALCUNE ELETTRICHE ESPERIENZE
DI GIO. ALDINI P. PROF. DI FISICA

BOLOGNA
PER LE STAMPE DEL SASSI
1797.

Şekil 16. Galvani'nin "Memorie Sull'Elettricita` Animale" isimli çalışmasının giriş sayfası.[1]

Nasıl olur da Volta, "*canlı elektriği*" (animal electricity) konusunda Galvani'nin gerisine düşebilirdi! Farklı bir bakış açısıyla yürüttüğü deneyleri Galvani'nin haklılığını kanıtlıyordu. Bu süreçte, Volta da hayvan deneylerini inatla sürdürmüş, elektroskop kullanarak yaptığı bu deneyler sonucunda, bi-metalik iletkenlerde de elektrik yükü biriktiğini ve bunların bir elektrik kaynağı olarak davrandığını göstermiştir. Volta, aralarında tuz çözeltisine batırılmış bez parçaları olmak üzere çinko ve bakırdan oluşan plaka çiftlerini üst üste yerleştirmek suretiyle sürekli (kararlı) elektrik üretmeyi başarmıştı (***Şekil 17***).[1,25] Volta pili (Voltaic pile) olarak anılan bu enerji kaynağı daha sonra kısaca "pil" (battery) olarak isimlendirilecekti. Nihayet, 1800 yılında haklılığı tescillenen Volta, buluşunu **Napoleon Bonaparte**'ın (1769-1821) huzurunda Paris Bilimler Akademisinde sundu. "*Londra Kraliyet Topluluğunun*" (Royal Society of London) 1791 yılından bu yana bir üyesi olan Volta, bu buluşuyla Galvani karşısında yitirdiği itibarını toplumun gözünde de geri kazanmış oluyordu.



A B

Şekil 17. İlk Volta pili veya bataryası (A), ve Volta'nın (1800) Joseph Banks'e yazdığı, pilini gösteren ve açıklayan mektubunun bir bölümü (B). Volta'nın bu harika buluşu, saygın bilim adamı olarak ününü güvence altına almakla kalmayıp fizik alanında da önemli bir dönüm noktasını oluşturacaktı.[25]

Galvani'nin Son Dönemi

Galvani, pilin icadından iki yıl önce ölmüştü. Son yılları onun için pek de iyi geçmemişti. Volta'nın bilimsel karşıtlığının onun üzerinde yarattığı baskı ve şüphenin yanı sıra talihsiz eşi, iş arkadaşı ve yoldaşı Lucia'nın, ilk kitabının yayımlanmasından hemen önce, 1788 yılında henüz 47 yaşında iken yaşamını yitirmiş olması, onu manevi olarak da oldukça sıkıntıya sokmuştu.[1] Volta ile olan kıyasıya bilimsel rekabeti, Napoleon'un kuzey İtalya'ya girişine kadar devam etti. Napoleon'un İtalya'daki varlığı, doğrudan olmasa da her anlamda Galvani'nin sonunu hazırlayacaktı.

Galvani, politik ve dini gerekçelerle İtalya'yı istila eden Napoleon'a bağlılığı reddetmişti. Bunun sonucu olarak, üniversitedeki görevini ve düzenli gelirini kaybedecek ve bilimsel çalışmaları da son bulacaktı.[18] Bu süreçte evini de kaybetmişti. Son yıllarını bir sığıntı olarak geçirdiği kardeşinin evinde (aslında doğduğu ev) yaşayarak 1798 yılında 61 yaşında iken hayata gözlerini yumacaktı. Ne yazık ki Galvani, dünya tam "*elektrik devriminin*" eşiğinde iken hayata veda etmişti. Galvani, ölümünden hemen önce mikroskobunu Giovanni Aldini'ye, elektrik makinesini (***Şekil 3***) Ludovico Galvani'ye, yayınlarını ise Camillo Galvani'ye vasiyet ederek tüm varlığını asistanlığını yapan yeğenleri arasında bölüştürmüştü.[1]

Galvani'nin ölümünden sonra Volta çalışmalarını, iletken bir ortam ile değmede olan farklı iki metalin (bakır ve çinko gibi) ardışık dizilimiyle oluşan Volta pili (pil, batarya) ile taçlandırdı.[30] Kuşkusuz ki, Volta'nın bu önemli keşfinin en önemli motivasyon unsuru Galvani idi. Bu nedenle Galvani, takip eden "**elektrik çağının**" öncüsü olarak kabul edilmektedir. Galvani'nin hayatı ve çalışmaları sadece elektrik devrimi açısından değil, **Emil Du bois-Reymond**'un (1818-1896) sinirde uyarı iletimi çalışmalarına ve bu alanda yapılmış olan diğer değerli çalışmalara öncü olması açısından da çok önemlidir.[36] Dolayısıyla, kas ve sinir fizyolojisi çalışmalarında yeni bir araştırma alanının, yeni ve daha spesifik adıyla, **elektrofizyoloji** bilim alanının önünün açılmasında kıvılcımı Galvani'nin çaktığı kabul edilir.[11,26]

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. Bresadola M. History of Neuroscience: Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737–1798). Brain Research Bulletin 1998;46(5):367–380.
2. Bayat AH. Tıp Tarihi. Merkezefendi Geleneksel Tıp Tarihi Derneği Yayınları, Üçer Matbacılık, İstanbul, 2016; 78.
3. Mc Comas A.J. Galvani's Spark; The Story of the Nerve Impulse. Oxford University Press 2011;11-37.
4. Antonie van Leeuwenhoek Dutch scientist by The Editors of Encyclopaedia Britannica. https://www.britannica.com/biography/Antonie-van-Leeuwenhoek (Erişim Tarihi: 14/06/2021).
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 iinstrumental in the emergence of electrophysiology. American Scientsit 1984;72(6):598-607.
7. Experiment: The Beginning of Modern Neuroscience - The Galvani/Volta Debate. https://backyardbrains.com/experiments/Galvani_Volta (Erişim Tarihi: 14/06/2021).
8. Underwood EA. Galvani and the discovery of 'animal electricity'. Nature 1955;175:441-442.
9. Cavazza M. Laura Bassi and Giuseppe Veratti: an electric couple during the Enlightenment. Contributions to Science 2009;5(1):115-128.
10. Piccolino M. Women in Science: Laura Bassi et Adriana Fiorentini: realisations et difficultes de deux dames italiennes dans les sciences, au18eme et au20eme siecle. http://marcopiccolino.org/ (Erişim tarihi:15.06. 2021).
11. Piccolino M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. Brain research Bulletin 1998;46(5):381-407.
12. Piccolino M. Luigi Galvani and animal electricity: two centuries after the foundation of electrophysiology. Trends Neurosci 1997;20: 443-448.
13. Kipnis N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. Annals of Science 1987;44: 107-142.
14. Parent A. Giovanni Aldini: From animal electricity to human brain stimulation. Can. J. Neurol. Sci 2004;31: 576-584.
15. Heilbron JL. The Contributions of Bologna to Galvanism. Historical Studies in the Physical and Biological Science 1991;22(1): 57-85.
16. Piccolino M. Luigi Galvani's path to animal electricity. Comptes Rendus Biologies 2006;329: 303-318.
17. Benjamin Franklin and the Kite Experiment. The Franklin Institute. https://www.fi.edu/benjamin-franklin/kite-key-experiment (Erişim Tarihi: 15.07.2021).
18. Graham JM. From frogs' legs to pieds-noirs and beyond: some aspects of cochlear implantation. The Journal of Laryngology & Otology 2003;117: 675-685.
19. Piccolino M, Wade NJ. The frog's dancing master: Science, Seances, and the transmission of myths. Journal of the History of the Neurosciences 2013; 22 (1): 79-95.
20. Piccolino M. Visual images in Luigi Galvani's path to animal electricity. Journal of the History of the Neurosciences 2008;17: 335-348.
21. Soeiro D. On artificial and animal electricity: Alessandro Volta vs. Lugi Galvani. Journal of Philosophy of Life 2013;3(3): 212-237.
22. Finger S. Edgar D. Adrian: Coding in the Nervous system; in Minds Behind the Brain: A history of the pioneers and their discoveries. Published to Oxford Scholarship Online, 2010; 239-258.
23. Dibner B. Alessandro Volta and the electric battery (Immortals of science). Franklin Watts, Inc. New York 1964; 5-101.
24. Piccolino M. The bicentennial of the Voltaic battery (1800-2000): the artificial electronic organ. Trends Neurosci 2000;23: 147-151.
25. Finger S, Pİccolino 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): 327-352.
26. Lüderitez B. Historical perspectives of cardiac electrophysiology. Hellenic J Cardiol 2009;50: 3-16.