

Le forze elettriche nel movimento muscolare

(tr. it. di E. Benassi, in *Galvani*, **Memorie ed esperimenti inediti**, Bologna, Cappelli, 1937)

Indice

PARTE PRIMA Le forze dell'elettricità artificiale nel movimento muscolare

PARTE SECONDA Le forze dell'elettricità atmosferica nel movimento muscolare

PARTE TERZA Le forze dell'elettricità animale nel movimento muscolare

PARTE QUARTA Congetture e corollari

Spiegazione delle figure (Edizione 1791)

TAV. I.

TAV. II.

TAV. III.

TAV. IV.

ALOYSII GALVANI

DE VIRIBUS ELECTRICITATIS
IN MOTU MUSCULARI

COMMENTARIUS

PARS PRIMA

De viribus electricitatis artificialis in motu musculari.

Optanti mihi, quæ laboribus non levibus post multa experimenta detegere in nervis, ac musculis contingit, ad eam utilitatem perducere, ut & occultæ eorum facultates in apertum, si fieri posset, ponerentur, & eorundem morbis iutius mederi possemus, nihil ad hujusmodi desiderium explendum idoneum magis visum est, quam si hæc ipsa qualiacumque inventa publici tandem juris facerem. Docti enim præstantesque viri poterunt nostra legendo, suis meditationibus suisque experimentis non solum hæc ipsa majora efficere, sed etiam illa assequi, quæ nos conati quidem sumus, sed fortasse minime consecuti.

Equidem in votis erat, sin minus perfectum, & absolutum, quod numquam forte potuissem, non rude saltem, atque vix inchoatum opus in publicam lucem proferre; at cum neque tempus, neque otium, neque ingenii vires ita mihi suppetere intelligerem, ut illud absolverem, malui sane æquissimo huic desiderio meo deesse, quam rei utilitati.

Operæ itaque pretium facturum me esse existimavi, si brevem, & accuratam inventorum historiam afferrem co ordine, & ratione, qua mihi illa partim casus, & fortuna obtulit, partim industria, & diligentia detexit; non tantum, ne plus mihi, quam fortunæ, aut plus fortunæ, quam mihi tribuatur, sed ut vel iis, qui hanc ipsam experiendi viam inire voluissent, facem præferremus aliquam, vel saltem honesto doctorum hominum desiderio satisfaceremus, qui solent rerum, quæ novitatem in se recondunt aliquam, vel origine ipsa principioque delectari.

Experimentorum vero narrationi corollaria nonnulla, nonnullasque conjecturas, & hypotheses adjungam co

E' mio desiderio trarre vantaggio dalle scoperte alle quali sono pervenuto, con fatiche non lievi e dopo molti esperimenti, nello studio dei nervi e dei muscoli, al fine che non solo siano possibilmente messe in luce le loro nascoste proprietà, ma si possa anche con maggior sicurezza curarne le malattie; ed a soddisfare un tale desiderio, nulla mi è sembrato più opportuno, che rendere al fine di dominio pubblico tutti questi miei ritrovati. Così gli scienziati, venendone a conoscenza, potranno colle loro considerazioni ed esperienze non solo accrescerli, ma ottenere anche quei risultati, che noi, malgrado i nostri sforzi, non abbiamo forse raggiunti.

Era bensì nei miei voti di pubblicare un'opera se non perfetta e definitiva - il che forse non avrei mai potuto - almeno non greggia ed incompiuta. Ma, comprendendo di non avere né tempo, né studi, né vigor d'ingegno sufficienti ad assolvere un tal compito, ho preferito rinunciare a questo mio desiderio, per quanto giustissimo, piuttosto che all'utilità della pubblicazione.

Pertanto ho stimato prezzo dell'opera riferire una breve ed accurata storia delle mie scoperte, seguendo quell'ordine e quel legame, con cui esse in parte mi furono offerte da casi fortunati, in parte vennero rivelate da diligente attività; e ciò non tanto per darne merito più a me che alla fortuna, o più alla fortuna che a me, quanto per offrire un qualche lume a coloro che volessero intraprendere la stessa via di ricerca; o almeno per soddisfare il legittimo desiderio dei dotti, i quali sogliono interessarsi dell'origine e dei fondamenti dei fenomeni, che racchiudono in sé qualcosa di nuovo.

Alla descrizione degli esperimenti aggiungerò alcuni corollari e congetture e ipotesi, soprattutto per spianare la via ad intraprendere nuovi esperimenti, onde, se non possiamo raggiungere la verità, ci si apra almeno uno spiraglio ad essa.

PARTE PRIMA

Le forze dell'elettricità artificiale nel movimento muscolare

Le mie ricerche sono cominciate in questo modo. Avevo disseccato e preparato una rana come nella figura ? della [Tav. I](#), e, a tutt'altro scopo, l'avevo messa su una tavola, ove era una macchina elettrica (Fig. 1, [Tav. I](#)), lasciandola però del tutto separata dal conduttore di questa, anzi posta a non breve distanza; non appena uno dei miei aiutanti, per caso, toccò colla punta di una lancetta, pur lievemente, i nervi interni crurali (DD) della rana, subito si videro tutti i muscoli degli arti contrarsi in tal modo, da sembrar caduti in convulsioni toniche violente. Un altro di coloro che ci assistevano in questi esperimenti elettrici ebbe l'impressione che il fenomeno avvenisse nel momento in cui dal conduttore della macchina scoccava la scintilla ([Fig. 1](#), B). Colpito dalla novità dell'osservazione, subito egli mi avvertì, mentre io pensavo a tutt'altro e stavo riflettendo fra di me. Allora fui preso da un'incredibile curiosità e desiderio di ritentare io stesso l'esperimento e di spiegare il mistero del fenomeno. Perciò io personalmente toccai colla punta della lancetta l'uno o l'altro nervo crurale, mentre uno dei presenti faceva scoccare la scintilla. Il fenomeno si ripeté proprio nello stesso modo: nel medesimo istante, in cui la scintilla scoccava, si manifestavano in ciascun muscolo degli arti contrazioni veramente violente, come se l'animale preparato fosse stato colpito da tetano.

Peraltro, nel timore che quei movimenti fossero provocati dal contatto della punta, che agisse forse come stimolo, piuttosto che dalla scintilla, stuzzicai di nuovo e nello stesso modo, colla punta della lancetta, ed anche con più forza, i medesimi nervi di altre rane, senza però che in quel momento si facesse scoccare la scintilla; ma non si vide nessun movimento. Pensai allora che, a provocare il fenomeno, fossero necessari contemporaneamente tanto il contatto d'un corpo quanto la scintilla. Perciò di nuovi posi a contatto dei nervi la punta della lancetta e ve la tenni ferma, sia mentre scoccava la scintilla, sia anche quando la macchina non era in funzione; ed il fenomeno si manifestò solamente quando appariva la scintilla.

Ripetemmo l'esperimento, sempre colla medesima lancetta già usata; ma, non senza nostra meraviglia, a volte, allo scoccar della scintilla, si determinavano i già notati movimenti, a volte mancavano.

Colpiti dalla stranezza dell'osservazione, decidemmo di ripetere in diversi altri modi l'esperimento, usando tuttavia la stessa lancetta, per spiegarci, se fosse possibile, le cause del singolare divario; né questa nuova fatica riuscì vana, poiché comprendemmo che tutto dipendeva da quelle, fra le varie parti della lancetta, che stringevamo fra le dita: finché tenevamo il manico della lancetta, che era d'osso, nessun movimento si manifestava allo scoccar della scintilla, mentre si determinava il movimento quando toccavamo colle dita la lama metallica della lancetta o i chiodini di ferro, che la tenevano fissa al manico.

Pertanto, poiché l'osso asciutto ha natura idioelettrica, mentre le lame metalliche e i chiodi di ferro sono di natura conduttrice, o, come si dice, anelettrica, sospettammo che, forse, quando stringevamo fra le dita il manico d'osso fosse chiuso ogni adito al fluido elettrico, in qualunque modo agente sulla rana; quando invece toccavamo la lama, o i chiodi a contatto di essa, il fluido trovasse la via di passare.

Per eliminare quindi ogni dubbio, usammo, invece della lancetta, un bastoncino ora di vetro (H, [Fig. 2](#)), ben pulito ed asciutto, ora di ferro (G); colla verghetta di vetro non solo toccavamo, ma quasi strofinavamo i nervi crurali, mentre scoccava la scintilla; sennonché ogni nostro sforzo rimase vano e non si manifestò mai il fenomeno, per quanto le scintille scoccassero dal conduttore della macchina in gran numero e molto violente e a breve distanza dall'animale; si manifestò invece quando toccammo, anche solo leggermente, i medesimi nervi colla verghetta di ferro, pur provocando scintille di poca intensità.

Da ciò deducemmo che era vero quanto avevamo sospettato e che era necessario il contatto di un corpo conduttore coi nervi, perché si avverasse il fenomeno. Ma, giacché nell'esperimento entravano in giuoco e un oggetto, con cui venivano toccati i nervi, e un uomo, che li toccava, mettemmo a contatto coi nervi il bastoncino di ferro (G), senza però reggerlo colla mano, per stabilire così se il fenomeno dipendesse dal corpo umano e dalla verghetta di ferro insieme o soltanto da quest'ultima. Disposte così le cose, nessun movimento dei muscoli si produsse allo scoccar della scintilla. Pertanto, adoperammo, invece della verghetta, un filo (KK, [Fig. 2](#)) molto lungo, per vedere se esso in certo qual modo potesse supplire alla mancanza del corpo umano, oppure no; ed ecco di nuovo manifestarsi, allo scoccar della scintilla, le contrazioni muscolari.

Da questa osservazione ci fu chiaro che a produrre il fenomeno non solo era necessario un corpo conduttore a contatto dei nervi, ma che esso fosse anche d'una certa grandezza e d'una certa lunghezza. Ci sia permesso designare in séguito un siffatto corpo come *conduttore dei nervi*, non per brevità, ma per chiarezza.

All'estremità di questo conduttore collegammo una rana mediante un piccolo uncino infisso nel suo midollo spinale ([Fig. 2](#)); e poi collocammo in direzione della macchina ora la rana, ora il conduttore di questa, in modo che a volte la rana era vicina alla macchina, a volte ne era lontana (1); per di più essa aveva ora le zampe, ora i nervi preparati rivolti verso la macchina, e ora davanti, ora dietro di sé aveva il conduttore; nondimeno si ottenevano sempre le contrazioni.

Inoltre sperimentammo se il fenomeno negli animali preparati si ottenesse anche in luogo del tutto distante dalla macchina, e facemmo ciò adoperando lunghissimi conduttori dei nervi. Giungemmo quindi a questo risultato, che, pur adoperando un filo di ferro lungo cento e più braccia, tuttavia, allo scoccare della scintilla, si manifestavano, sebbene a così grande distanza dalla macchina, contrazioni muscolari. Facemmo l'esperimento in questo modo. Sospendemmo un filo di ferro (EEE, [Fig. 3](#)) a fili di seta e, come dicono i fisici, lo isolammo. Legammo un capo di esso (F), sempre con filo di seta, ad un chiodo infisso nel muro;

l'altro capo facemmo passare attraverso diverse stanze, portandolo, giusta la lunghezza del filo, lontano dalla macchina; a questo capo congiungemmo (nel punto C) un altro filo di ferro (B), alla cui estremità era appesa una rana. Per comodità chiudemmo la rana in un barattolo di vetro (A) il cui fondo era coperto da una sostanza conduttrice, acqua per esempio, o pallini di piombo da caccia, con cui riusciva meglio l'esperimento. Fatta scoccare poi la scintilla dal conduttore della macchina, la rana sezionata, con grandissima nostra meraviglia, si muoveva e quasi saltellava, pur a così grande distanza. Lo stesso avveniva, se la rana, tolta dal barattolo di vetro, si appendeva nel medesimo modo al conduttore (EEE), e di gran lunga più prontamente, se si congiungeva alle zampe un corpo conduttore in comunicazione colla terra.

Fatta la prova con un conduttore isolato, ricercammo che cosa avvenisse con un conduttore non isolato.

A tal fine legammo il medesimo filo di ferro (EEE) a diversi cardini delle porte fra le stanze della nostra casa, le quali erano sei, avendo disposto ogni altra cosa come prima; in tal modo la rana preparata manifestava contrazioni, più piccole, ma notevoli, quando scoccava la scintilla.

Ottenuti questi risultati, volemmo anche sperimentare se la forza di una siffatta elettricità agisse e si diffondesse in tutte le direzioni, cioè in circolo, come era da supporre. Pertanto disponemmo diversi conduttori dei nervi in circolo intorno al conduttore della macchina, a distanza non piccola da essa, e appendemmo a ciascuno di essi una rana preparata. Fatta scoccare la scintilla, non di rado nel medesimo istante - spettacolo davvero divertente - tutte le rane sussultavano, specie quando si congiungeva alle zampe di ciascuna di esse un corpo conduttore come nel precedente esperimento, e soprattutto se questo corpo conduttore si metteva in comunicazione colla terra: il che si otteneva facilmente o collegando alle zampe un lungo filo metallico o toccandole colle mani.

Conosciuta così l'utilità o la necessità dei corpi conduttori collegati alle zampe, nacque in noi il desiderio di tentare altri esperimenti intorno a tal fatto; al termine dei quali si concluse che i corpi conduttori, collegati ai muscoli, o sono a volte sufficienti da soli, senza i conduttori dei nervi, ad ottenere le contrazioni, o comunque vi contribuiscono non poco; e ciò tanto più, quanto più grandi siano e quanto maggior proprietà conduttrice abbiano, soprattutto poi se siano in comunicazione colla terra stessa; ma hanno molto minor influenza in confronto di quelli, che eravamo soliti collegare coi nervi.

Questi corpi conduttori chiameremo in séguito *conduttori dei muscoli*, per distinguerli facilmente dai sopra indicati conduttori dei nervi.

Però già notammo che, allo scoccare della scintilla, non si manifestava alcuna contrazione, sebbene avessimo collegato ai muscoli il loro conduttore, se il conduttore dei nervi, fatto giungere lontano dalla macchina, era interrotto da un corpo coibente; così se esso era appositamente costituito in parte di una sostanza conduttrice, per esempio metallica, in parte da una sostanza coibente, per esempio vetro, resina, seta; oppure se il conduttore B ([Fig. 3](#)) non veniva congiunto al conduttore EEE nel punto C, ma invece sospeso ad un laccio di seta (D). Ciò costituiva per certo una prova nuova e sicura dell'elettricità che circola per siffatti conduttori.

Ma non soltanto con un conduttore così intercettato, sibbene anche con uno del tutto interrotto facemmo l'esperimento: collocando i capi del conduttore interrotto anche a minima distanza fra di loro non si ottenne per nulla il fenomeno.

Ci proponemmo allora di intercettare in altro modo il libero cammino dell'elettricità attraverso il conduttore; collocammo cioè una rana preparata su un piano coibente, senza però congiungere il conduttore dei nervi, come prima, né coi nervi né col midollo spinale dell'animale, bensì collocandolo sul medesimo piano in modo che il capo fosse distante da quelli alquante linee, a volte anche un pollice: allo scoccar della scintilla, si manifestarono delle contrazioni; così pure quando ponemmo le zampe su un piano conduttore, e i nervi alla medesima distanza su un piano coibente, oppure tenemmo sospesi in alto tra le dita i nervi, oppure usammo un breve e un lungo conduttore dei nervi, collocando inoltre la rana ora vicino alla macchina, ora lontano da essa; mancava invece ogni contrazione, se i nervi e il conduttore, come prima non collegati, venivano a trovarsi su un piano conduttore..

Eseguiti questi esperimenti coll'elettricità, come si dice, positiva, ci restava di tentarli anche coll'elettricità negativa. Perciò dapprima isolammo la macchina elettrica e colui che la faceva girare. Costui teneva in mano un cilindro di ferro, a cui noi avvicinammo le rane preparate coi relativi conduttori, come era necessario; le rane erano collocate su un piano di vetro, affinché i corpi vicini non comunicassero ad esse dell'elettricità. Poi, chi faceva girare la macchina provocava, mediante il sopraddetto cilindro di ferro, lo scoccar di scintille dai corpi vicini. Si ebbero così contrazioni nelle rane preparate, nello stesso modo in cui si avevano, quando si facevano scoccare scintille dal conduttore della macchina non isolata.

Inoltre sperimentammo l'elettricità negativa in quest'altro modo. Collocammo ad una certa distanza dalla superficie d'una bottiglia di Leida un conduttore dei nervi (C, [Fig. 4](#)), poi dalla superficie caricata, come dicono i fisici, e precisamente da quella carica di elettricità positiva, facemmo scoccare scintille ([Fig. 5](#)). Le rane si movevano nello stesso modo di quando si usava elettricità positiva; e si movevano anche se il filo di ferro, che faceva da conduttore dei nervi, era alquanto distante dalla superficie esterna della bottiglia, e altresì se era interamente chiuso in un lungo tubo di vetro, e ancora se la rana stessa era racchiusa in un barattolo di vetro, purché l'estremità aperta di quel tubo si ponesse sulla superficie esterna della bottiglia. Si ottenevano sempre le medesime contrazioni, sia che la scintilla scoccasse dall'uncino della bottiglia di Leida nel medesimo tempo in cui questa si caricava, come si dice, di elettricità, sia poco dopo; sia che si determinasse la scintilla nel medesimo luogo in cui la bottiglia si caricava, sia altrove, anche se questa era portata lontano dalla macchina.

D'altra parte questi risultati si osservavano non solo su rane fornite di conduttore dei nervi, ma anche con quelle fornite soltanto di conduttore dei muscoli: in una parola, in questo esperimento della bottiglia si verificava tutto quello che si era constatato nell'esperimento della macchina, sebbene la rana preparata non potesse ricevere elettricità né dalla superficie esterna della bottiglia, né dai corpi vicini, né da alcun'altra idonea sorgente.

Ma ci piacque anche sperimentare in altro modo colle superfici negativamente elettriche, e cioè svolgere ricerche sulle contrazioni facendo scoccare da tali superfici piccole scintille. Collocammo perciò una rana preparata sulla superficie superiore del quadrato magico, alla quale opportunamente affluiva l'elettricità dalla macchina e facemmo scoccare la scintilla dalla superficie inferiore, ora mentre la macchina stava ferma, ora mentre girava. Quando la macchina stava ferma, raramente si manifestarono le consuete contrazioni muscolari: si osservarono soltanto qualche volta, ma subito dopo che essa era ferma; mentre girava, invece, non si produssero mai.

Svolte queste prove coll'aiuto della macchina elettrica, usufruimmo anche l'elettricità dell'elettroforo, allo scopo di non trascurare alcuna specie di elettricità, che produca scintille. Facemmo scoccare dunque la scintilla dal clipeo dell'elettroforo, e si manifestò il solito fenomeno delle contrazioni muscolari; ma non a grandi distanze, come quando si faceva scoccar la scintilla dal conduttore della macchina, bensì solo a distanze brevi; e le contrazioni stesse rimasero molto deboli. Sebbene, in séguito a tanti esperimenti intorno alla forza dell'elettricità, non ci sembrasse affatto lecito dubitare della causa del fenomeno, tuttavia, a comprovare ancor di più il fatto, nulla poteva riuscire più opportuno che adattare ai conduttori dell'animale elettrometri sensibilissimi.

Adoperammo a tale scopo un piccolo elettrometro, costruito secondo il disegno dell'illustrissimo Volta, rivestendo in parte le paglie, perché esse fossero più atte all'esperimento, con un sottilissimo foglio di stagno. Iniziato l'esperimento coi conduttori isolati, mentre la macchina girava, le paglie non raramente si divaricavano, ma spesso rimanevano immote allo scoccar della scintilla. Invece quando i conduttori non erano isolati, le paglie, mentre la macchina girava, non si allontanavano affatto; al prodursi della scintilla, per contro, subivano piccoli sbalzi e piccolissime vibrazioni: i quali sembravano indicare una certa corrente di elettricità attraverso i conduttori dell'animale durante il tempo in cui, allo scoccar della scintilla, si manifestavano le contrazioni.

Perché fosse tolto ogni dubbio, ci adoperammo per impedire con vari mezzi ogni via al fluido elettrico della macchina, che in qualunque modo potesse agire sull'animale e sui conduttori di esso. Dapprima pertanto chiusi l'animale in un barattolo di vetro; dipoi, fatto un foro nel muro, presso il quale era la macchina elettrica, e inserito un tubo di vetro in questo foro, che interessava tutto lo spessore del muro, fissai la bocca del barattolo, mediante glutine, al muro forato, così che i conduttori dei nervi, passando attraverso il tubo di vetro, pendessero dall'altra parte del muro nella stanza vicina. Fatta scoccare la scintilla dal conduttore della macchina, ecco manifestarsi i movimenti muscolari.

Invertii anche le posizioni dell'animale e del conduttore di esso: cioè posi il conduttore nel barattolo, dove prima stava l'animale, e l'animale dove prima pendeva il conduttore; disposi poi tutto nel medesimo modo di prima: allo scoccar della scintilla, si manifestarono i medesimi movimenti.

Sebbene con questa specie di esperimento sembrasse chiusa ogni via al fluido elettrico della macchina, non di meno escogitai anche e costruii una macchinetta (Fig. 6) di gran lunga più semplice e più comoda del sopraddetto apparecchio, la quale facilmente si poteva collocare a diversa distanza dalla macchina; dentro essa si poteva chiudere non solo l'animale, ma anche il conduttore dei nervi e quello dei muscoli.

La macchinetta è fatta in questo modo. Si compone di due barattoli di vetro, dei quali l'uno è appoggiato capovolto sull'altro. In quello di sopra v'è il conduttore dei nervi, che per comodità è costituito da pallini di piombo da caccia; in quello di sotto v'è l'animale e pallini di piombo, che fanno le veci del conduttore dei muscoli, giacché, stando l'animale con le zampe fra di essi, questi sono come collegati ai suoi muscoli.

L'animale facilmente si mantiene in quella posizione ed è in comunicazione col conduttore del barattolo di sopra per mezzo di un filo di ferro, a cui è appeso per il midollo spinale. Il filo di ferro passa attraverso il turacciolo di sughero del barattolo e penetra nella cavità di questo, dove è circondato e ricoperto dai pallini di piombo.

Una simile chiusura impedisce che i pallini del barattolo di sopra cadano, quando esso si capovolge per porlo sopra all'altro; ma, affinché esso non si stacchi facilmente da quello di sotto e perché il fluido elettrico non possa trovare una qualche via attraverso le fessure, che rimanessero fra le bocche combacianti, si uniscono i due orli con un mastice speciale, fatto di cera e di trementina; così i due barattoli si congiungono fortemente, seppure in modo tale che si possano staccare quando si voglia e quando occorra, e poi di nuovo congiungere.

Collocata questa macchinetta sulla tavola, su cui si trova la macchina elettrica, ad una certa distanza dal conduttore della macchina stessa, e fatta scoccare la scintilla, si manifestarono non solo i medesimi movimenti, ma più violenti che quando l'animale e i suoi conduttori non erano racchiusi nei barattoli; inoltre questi movimenti muscolari seguivano proporzionatamente le leggi sopra indicate. In séguito a questo risultato, facilmente mi sarei ricreduto dalla prima opinione, per cui stimavo che la causa e l'origine di questi movimenti muscolari fosse l'elettricità eccitata dal conduttore della macchina, che agiva nello scoccar della scintilla, se non mi avessero richiamato ad essa e i precedenti esperimenti e soprattutto un certo

sospetto nato in me, che il fenomeno dovesse in gran parte ascrivarsi all'elettricità della superficie vitrea interna, la quale agiva sull'animale e sui suoi conduttori nel momento della scintilla; in questo sospetto mi confermarono pienamente non solo i successivi esperimenti, ma in special modo i movimenti notati nell'elettrometro collocato nella medesima macchinetta. Infatti le leggerissime palline e i fili, di cui era fatto l'elettrometro, mentre la macchina girava sùbito si spostavano e fra di loro si allontanavano; ma quando scoccavano le scintille tornavano al proprio posto e riprendevano il primitivo contatto.

Condotti a termine questi ed altri esperimenti, ci rimaneva ancora, per trarre maggiore utilità dalle nostre ricerche, di ripeterle anche con animali vivi.

Per evitare la morte dell'animale, praticammo tali esperienze sul nervo crurale, messo a nudo non entro l'addome, ma bensì nella coscia, dissecandolo dalle altre parti ed estraendolo dai muscoli: fatto ciò vi applicammo un conduttore.

Producendo la scintilla si manifestarono invero contrazioni nella corrispondente zampa, però meno notevoli, secondo quanto ci parve, che nell'animale morto.

Ma, poiché negli esperimenti suesposti l'animale e la macchina col relativo conduttore comunicavano fra di loro mediante l'interposta aria, volemmo sperimentare pure che cosa avvenisse dapprima interrompendo, dipoi del tutto annullando tale comunicazione.

In primo tempo collocai la macchinetta coll'animale preparato, fornito dei suoi conduttori (come nella [Fig. 6](#)), sotto un vaso di vetro, in un luogo poco discosto dalla macchina elettrica; feci scoccare poi la scintilla e, come al solito, si manifestarono le contrazioni.

Posi questo vaso con dentro la macchinetta sotto un altro vaso di gran lunga più capace, e questo sotto un altro ancora più grande: fatta scoccare la scintilla si ebbero le medesime contrazioni, tanto più deboli invero, quanto maggiore era il numero dei vasi e il loro spessore.

Dopo ciò tolsi ogni comunicazione di aria tra l'animale e la macchina elettrica. Collocai a tal fine la macchinetta, in cui era l'animale, sotto la campana della macchina pneumatica, in un luogo alquanto distante dalla macchina elettrica, e forai il barattolo superiore della macchinetta, affinché l'aria potesse uscire da essa mediante ripetute aspirazioni: facevo poi scoccare la scintilla, sia quando vi era aria, sia quando essa era stata estratta: nell'uno e nell'altro caso si ottennero contrazioni, a quanto parve per nulla dissimili.

Ormai sperimentata in tanti modi l'elettricità che agisce mediante scintille, cercammo con diligenti fatiche se essa esercitasse il suo impero sul movimento muscolare anche con altre forze e sotto altre forme. Invero, a volte potemmo osservare contrazioni muscolari, se il conduttore dei nervi (B, [Fig. 3](#)) veniva collocato vicinissimo al conduttore della macchina elettrica e il clipeo dell'elettroforo veniva sollevato dal piano resinoso; oppure se il clipeo veniva messo vicinissimo al conduttore della macchina, mentre l'elettroforo era abbastanza discosto da detto conduttore, senza tuttavia far scoccare alcuna scintilla (2).

Tutti questi fenomeni sono stati constatati negli animali detti a sangue freddo. Fatti tali esperimenti e tali scoperte, nessun altro desiderio fu più vivo in noi, che ripetere ricerche uguali o simili anche negli animali a sangue caldo, per esempio nei polli e nelle pecore. Eseguita l'esperienza, si ottenne senz'altro il medesimo risultato, tanto in queste quanto in quelli. Ma in questi animali occorre una diversa preparazione: fu necessario cioè mettere a nudo il nervo crurale, non dentro il ventre, ma fuori, e specialmente nella coscia, dissecarlo ed estrarlo; poi collegare ad esso un conduttore, e far scoccare dal conduttore della macchina la scintilla, essendo l'arto o congiunto all'animale vivo o, come prima, amputato; altrimenti infatti, seguendo il solito metodo onde si preparavano le rane, il fenomeno veniva a mancare del tutto, forse perché i muscoli perdono la facoltà di contrarsi, prima che quella lunga e complessa preparazione possa esser terminata.

In questa specie di esperimenti, sia con animali a sangue caldo sia con quelli a sangue freddo, bisogna per ultimo richiamare l'attenzione su alcune constatazioni caratteristiche e, a mio parere, notevoli, le quali furono da noi sempre osservate. L'una è che gli animali preparati erano tanto più adatti ai fenomeni quanto più erano vecchi e quanto più i loro muscoli erano bianchi ed anemici. Perciò, forse, con più facilità, più prontamente e più a lungo si possono ottenere contrazioni negli animali a sangue freddo che negli animali a sangue caldo; infatti quelli hanno, rispetto a questi, sangue più diluito, il quale si coagula con maggior difficoltà ed inoltre di gran lunga più facilmente defluisce dai muscoli. L'altra osservazione è che gli animali preparati, sui quali furono fatti questi esperimenti elettrici, si corrompono e si putrefanno molto più rapidamente che quelli, che non sono stati sottoposti ad alcuna forza elettrica. Per ultimo è da ricordare che i suesposti fenomeni si ottengono solo se gli animali sono preparati per l'esperimento nel modo che si è detto, altrimenti essi non si avverano. Infatti, le contrazioni o non si manifestano o sono assai deboli, se i conduttori si collegano, o anche si fissano, non al midollo spinale messo a nudo o ai nervi, come noi siamo soliti fare, ma al cervello o ai muscoli; e così pure se i conduttori dei nervi si prolungano fino ai muscoli, o se i nervi non si isolano dalle parti circostanti, come al solito. La maggior parte dei risultati, ottenuti con questi esperimenti, noi la dobbiamo a questo modo di preparare e d'isolare i nervi.

PARTE SECONDA

Le forze dell'elettricità atmosferica nel movimento muscolare

Dopo aver raggiunte le scoperte, da noi finora esposte, intorno alla forza dell'elettricità artificiale nelle contrazioni muscolari, fu nostro vivo desiderio indagare se la cosiddetta elettricità atmosferica producesse, oppure no, i medesimi fenomeni: cioè se, seguendo i medesimi artifici, lo scoccare dei fulmini eccitasse contrazioni muscolari, così come quelle della scintilla.

A tal fine innalzammo nell'aria libera un lungo ed adatto conduttore, cioè tendemmo sul luogo più alto della casa un filo di ferro, e lo isolammo (Fig. 7, [Tav. II](#)); quando sopravvenne un temporale, collegammo al conduttore stesso, mediante i nervi, o rane preparate o gli arti preparati di animale a sangue caldo (come nelle Fig. 20 e 21 della [Tav. IV](#)). Alle estremità di tali rane o di tali zampe collegammo anche un altro conduttore, cioè un altro filo di ferro, ma lunghissimo, il quale giungesse fino nell'acqua del pozzo (indicato nella figura). L'esperimento riuscì, proprio secondo la nostra aspettativa, precisamente come per l'elettricità artificiale: ogni volta che balenavano i fulmini, nel medesimo istante tutti i muscoli subivano violente e numerose contrazioni, così che, come i baleni dei fulmini sogliono precedere il tuono, e quasi preavvertirlo, così i movimenti e le contrazioni muscolari di quegli animali; anzi il manifestarsi dei fenomeni fu così imponente che le contrazioni avvenivano anche senza applicare il conduttore dei muscoli e senza isolare i conduttori dei nervi; per di più, fuor d'ogni speranza e d'ogni aspettativa, si osservarono i medesimi fatti, collocando il conduttore anche in luoghi più bassi (Fig. 8, [Tav. II](#)), soprattutto se i fulmini erano potenti e provenivano da nubi vicine al luogo degli esperimenti, oppure se qualcuno reggeva colle mani il filo di ferro (F), nel momento in cui i fulmini scoccavano.

Il fenomeno poi si manifestava sia che l'animale fosse all'aria aperta, sia che per comodità fosse chiuso in un vaso capace ([Fig. 7](#)), o tenuto dentro la stanza; ed avveniva pure per quanto il conduttore dei nervi terminasse un po' distante dai nervi stessi, specialmente quando i fulmini erano violenti e vicini: come abbiamo detto che avveniva coll'elettricità artificiale, quando le scintille erano più forti o scoccavano più vicino all'animale. Infine è degna di nota l'osservazione che sotto l'azione della folgore, il fenomeno non si esauriva con una sola contrazione muscolare, come per la scintilla, ma contrazioni succedevano a contrazioni quasi ad ogni istante: sembrava che il numero di esse corrispondesse al numero dei fragori, che il tuono suole produrre.

Però non soltanto sotto l'azione dei fulmini si manifestavano tali contrazioni; ma, quando il cielo era in tempesta e le nubi passavano vicino ai conduttori dei nervi situati in alto come si è detto, esse si manifestavano quasi spontaneamente; ogni qualvolta ciò avveniva, non solo gli elettrometri davano evidenti indizi di elettricità, ma spesso si potevano estrarre scintille dagli stessi conduttori elevati, il che non avveniva quando le contrazioni erano prodotte dalla caduta dei fulmini; in quest'ultimo caso infatti per lo più non scoccavano scintille e a malapena gli elettrometri più sensibili davano qualche segno di elettricità.

Esperimenti simili non solo furono fatti con animali morti, ma anche con animali vivi, e il fenomeno si manifestò negli uni e negli altri. Non si tralasciò nessuna delle ricerche che si erano tentate coll'elettricità artificiale, e i risultati furono quasi tutti analoghi. Sembrò di non lieve interesse, a prima vista, il fatto che le rane preparate, chiuse con un adatto conduttore nell'apparecchio di vetro (Fig. 6, [Tav. I](#)), mentre, anche se alquanto lontane dal conduttore della macchina elettrica, si muovevano violentemente, come già si disse, allo scoccar della scintilla, invece allo scoppiar del fulmine dalle nubi rimanessero del tutto immote; la ragione può essere, o che l'elettricità portata dalla nube elettrica all'apparecchio per mezzo del conduttore fosse troppo debole e occupasse una troppo piccola parte della superficie esterna di quello, o che nessuna elettricità pervenisse all'apparecchio; allo stesso modo e quasi per la medesima ragione infatti non si hanno contrazioni allo scoccar della scintilla, se l'apparecchio è stato collocato non vicino alla macchina elettrica, ma vicino a quella estremità del conduttore (EEE, Fig. 3, [Tav. I](#)), che è lontana dalla macchina elettrica.

Pertanto, considerando con diligenza l'osservazione, appare simile il modo di comportarsi dell'elettricità artificiale e di quella atmosferica; forse per ottenere le contrazioni dentro l'apparecchio di vetro è necessario che l'atmosfera elettrica lo circondi del tutto o in grandissima parte, il che qui sembra non avvenire, dati il luogo in cui è posto, secondo quanto si è sopra descritto, l'apparecchio, e le modalità dell'esperimento.

In complesso, dopo aver non soltanto studiato il fenomeno, ma esaminatene anche le leggi, ci convincemmo che negli effetti dell'elettricità atmosferica sono seguite le medesime leggi che valgono per quella artificiale.

Dopo aver sperimentato la forza dell'elettricità cosiddetta tempestosa e delle folgori e dei fulmini, pensammo di indagare anche gli effetti dei lampi estivi e serotini sugli animali preparati come al solito: perciò collegammo i medesimi animali al nostro conduttore atmosferico, non solo quando il cielo mandava folgori, ma anche quando lampeggiava soltanto. Ma in tali condizioni non si osservarono mai contrazioni, forse perché siffatti baleni non dipendono dall'elettricità, oppure, se ne dipendono, per la loro grande distanza o per altra ragione si comportano diversamente da come sogliono le folgori. E' questo un argomento che potranno indagare specialmente i fisici.

PARTE TERZA

Le forze dell'elettricità animale nel movimento muscolare

Sperimentata la forza dell'elettricità atmosferica tempestosa, sorse vivissimo in noi il desiderio di indagare anche il potere dell'elettricità diurna e placida.

Perciò, avendo a volte notato che le rane, preparate e munite di uncini di rame infissi nel midollo spinale, quando erano messe sulle ringhiere di ferro circondanti un giardino pensile della nostra casa, manifestavano le consuete contrazioni, non solo a cielo tempestoso, ma talora anche a cielo sereno, stimai che quelle contrazioni traessero origine dalle mutazioni, che durante il giorno avvengono nell'elettricità atmosferica. Quindi, non senza speranza, cominciai a indagare diligentemente gli effetti di queste mutazioni sui movimenti muscolari, e a fare diversi esperimenti. Perciò durante parecchie ore, e questo per molti giorni, osservai animali a ciò appositamente preparati; ma nei loro muscoli si manifestò a malapena qualche movimento. Infine, stanco dell'inutile attesa, cominciai ad avvicinare e a far toccare alle ringhiere di ferro gli uncini di rame infissi nel midollo spinale, per vedere se si manifestassero in questo modo contrazioni muscolari, oppure se qualcosa di nuovo o di diverso si palesasse a seconda della varia situazione dell'atmosfera e dell'elettricità: e realmente notai spesso delle contrazioni, ma senza alcun riferimento al diverso stato dell'atmosfera e dell'elettricità.

Tuttavia io, avendo notato codeste contrazioni soltanto all'aperto - poiché non aveva ancora svolti gli esperimenti in altri luoghi - fui quasi convinto che esse fossero dovute all'elettricità atmosferica introdottasi nell'animale e in esso accumulatasi, la quale, al contatto dell'uncino colla ringhiera di ferro, rapidamente si scaricasse: infatti, è facile ingannarsi nel fare esperimenti e credere di aver visto e di aver trovato ciò che desideriamo vedere e trovare.

Però, avendo trasportato l'animale in una stanza chiusa, e avendolo posto su un piano di ferro, provai ad accostare a questo l'uncino infisso nel midollo spinale: ed ecco manifestarsi le medesime contrazioni, i medesimi movimenti. Subito procedetti agli esperimenti con altri metalli, in altri luoghi, in altre ore e giorni; ed ottenni il medesimo risultato: sennonché le contrazioni, a seconda della diversità dei metalli, erano diverse, e cioè con alcuni più forti, con altri più deboli. Dipoi pensai di adoperare per il medesimo esperimento altri corpi, che però conducono poco o niente l'elettricità, come vetro, gomma, resina, pietre, legno, usandoli bene asciutti: non si ebbe nessuno dei risultati prima ottenuti, non osservandosi alcuna contrazione o movimento muscolare. Un simile esito ci cagionò non lieve meraviglia e cominciai a farci nascere il sospetto di un'elettricità propria dell'animale. L'una e l'altro fu accresciuto dalla scoperta, che per caso facemmo, di un circuito di un tenuissimo fluido nervoso, che, mentre avveniva il fenomeno, si svolgeva dai nervi ai muscoli e che è simile al circuito elettrico, che si svolge nella bottiglia di Leida.

Infatti, mentre io reggevo con una mano, mediante l'uncino infisso nel midollo spinale, una rana preparata, e movevo quella perché essa stesse colle zampe in una capsula d'argento, e con l'altra mano, mediante un corpo metallico, toccavo il fondo della capsula, su cui la rana poggiava colle zampe o coi fianchi, senza che lo sperassi vidi la rana subire contrazioni non lievi, e ciò ripetersi ogni qualvolta io ricorrevo al medesimo artificio.

Notato ciò, mi rivolsi al dottissimo spagnuolo Rialpo, un tempo della Compagnia di Gesù, il quale in quel tempo villeggiava con me in casa dell'ottimo e nobilissimo Jacopo Zambeccari; mi rivolsi a lui, ripeto, giacché, per sua grandissima bontà, m'aveva aiutato in precedenti esperimenti, e gli dissi che mi desse una mano aiutandomi a reggere la rana, come prima io avevo fatto, mentre toccavo di nuovo la capsula: e ciò non solo per comodità, ma anche per cambiare alquanto le modalità d'esperimento. Ma contro l'aspettativa non si ottennero contrazioni: subito rifeci da solo, come prima, l'esperimento, e senz'altro si riebbbero contrazioni.

Ciò mi indusse a reggere, come prima, con una mano la rana, con l'altra la mano del Rialpo, e a pregarlo che alla sua volta con l'altra sua mano o toccasse o percotesse la capsula, in modo che si formasse come una specie di catena elettrica: subito, con nostra soddisfazione ed ammirazione, si riebbe il fenomeno delle contrazioni, il quale cessava se noi disgiungevamo le mani e tornava a manifestarsi se noi le ricongiungevamo.

Sebbene questi fatti sembrassero sufficienti a dimostrare quasi una corrente elettrica di fluido nervoso attraverso una catena umana, nondimeno, per confermare maggiormente un fenomeno di così grande importanza e novità, decidemmo di formare la catena io e il Rialpo, non col congiungimento delle mani, ma interponendo ora un corpo coibente, per esempio una bacchetta di vetro, ora un corpo conduttore, per esempio una bacchetta di metallo; fatta la prova, con nostra soddisfazione vedemmo che adoperando la bacchetta metallica si avverava il fenomeno; invece quando si ricorreva a quella di vetro mancava del tutto per quanto si toccasse o si colpisse fortemente la capsula con un corpo conduttore. Così ci accertammo che siffatte contrazioni erano prodotte dall'elettricità, comunque ciò avvenisse.

Però, per accertare meglio il fatto, mi parve assai opportuno collocare la rana su un piano coibente, per esempio di vetro o di resina, e adoperare poi ora un arco conduttore, ora un arco del tutto o in parte coibente, di cui ponevo a contatto un'estremità coll'uncino infisso nel midollo spinale, l'altra coi muscoli delle coscie o colle zampe. Fatto l'esperimento, si ebbero contrazioni adoperando l'arco conduttore (Fig. 9, [Tav. III](#)); mancarono del tutto, quando adoperammo l'arco in parte conduttore, in parte coibente ([Fig. 10](#)). L'arco conduttore era costituito di filo di ferro, l'uncino invece di filo di rame.

Constatato ciò, fummo del parere che le contrazioni, le quali si manifestavano nelle rane poste su un piano metallico quando l'uncino del midollo spinale veniva a contatto con esso, erano dovute ad una specie d'arco, di cui in certo qual modo faceva le veci il piano metallico; e che da ciò proveniva la mancanza di contrazioni in rane poste su un piano coibente, sebbene si ricorresse ad artifici del tutto simili.

Un fenomeno, a caso osservato, non senza nostra soddisfazione, confermò del tutto - a mio parere - questa nostra opinione: infatti se la rana è tenuta sospesa con le dita per una zampa, in modo che l'uncino fisso nel midollo spinale tocchi un piano d'argento (3), e l'altra zampa scorra liberamente sul medesimo piano (Fig. 11, [Tav. III](#)), appena questa zampa tocca il piano, ecco che i muscoli si contraggono, onde la zampa sussulta e si solleva: subito dopo la zampa, spontaneamente rilassandosi e ricadendo sul piano, appena lo tocca, di nuovo per lo stesso motivo si solleva, e così, di volta in volta, alternativamente continua a sollevarsi e a ricadere, talché sembra - con meraviglia e con divertimento di chi osserva - che questa zampa si comporti a guisa di un pendolo elettrico.

E' facile comprendere quanto agevolmente e opportunamente questo fenomeno possa esser attribuito al predetto piano, che fa le veci di un arco adattissimo al circuito, nel momento in cui la zampa libera lo sfiora, mentre non può servire al circuito, appena la zampa si allontani da esso. Ciò è indizio sicuro e chiaro che il piano metallico fa le veci di un arco.

E a malapena può dirsi quali siano la facoltà e l'attitudine di detto piano a produrre le contrazioni muscolari: così, per esempio, se ne ottengono di notevoli e numerose, talora anche costanti per alcun tempo, non soltanto se l'uncino, fisso al midollo spinale, venga messo a contatto del piano di metallo o sfregato contro di esso, ma anche appena detto uncino tocchi il piano; e così pure se, dopo che l'abbia toccato, il contatto di esso col piano venga un po' mutato, per esempio collo scuotere lievemente il piano, sopra il quale si trova l'animale, o i sostegni, su cui detto piano poggia. Ma basti quello che finora si è detto sopra di questa specie di arco dovuta al piano metallico.

Prima di abbandonare l'argomento dell'uso e della forza dell'arco, non vogliamo tralasciare, a dimostrare il suo potere e, direi quasi, la sua necessaria e opportunissima presenza in cosiffatte contrazioni muscolari, che queste si ottengono, e spesso più distintamente e più prontamente, non soltanto con un solo arco, ma anche con due, disposti e usati in questo modo: una estremità d'un arco si accosta ai muscoli, e una estremità dell'altro arco si accosta ai nervi, mentre le altre due sono messe a contatto fra di loro, o, se è necessario, si sfregano reciprocamente (Fig. 12). In tale esperimento si nota questa particolarità, che l'elettricità, onde sono prodotte siffatte contrazioni, non si diffonde affatto né si disperde attraverso il contatto delle mani coll'uno o coll'altro arco, né per via dei ripetuti contatti degli archi con le parti dell'animale.

Inoltre ci accadde assai spesso di osservare - soprattutto se le forze degli animali preparati erano deboli - una particolarità, degna di attenzione, a proposito degli archi e dei piani conduttori: e cioè che importa molto - e dà risultati di gran lunga maggiori - ad ottenere e ad accrescere le contrazioni muscolari, l'uso di parecchi e differenti corpi metallici, invece di uno solo ed uniforme. Così, per esempio, se l'arco è interamente di ferro, e l'uncino e il piano conduttore sono pure di ferro, spesse volte non si avranno contrazioni o saranno debolissime. Se invece un elemento, per esempio, è di ferro, l'altro di rame o meglio d'argento (infatti a noi è sembrato l'argento il migliore conduttore dell'elettricità animale), subito si produrranno le contrazioni ed esse saranno più notevoli e di gran lunga più durature. Lo stesso suole avvenire con una medesima superficie di piano coibente, divisa in due parti e ricoperta, su ambedue, di lamina metallica diversa: per esempio, in una parte con un foglio di stagno, nell'altra con un foglio di ottone; accade cioè, in tal caso, che le contrazioni si manifestano molto più forti che se l'una e l'altra fossero ricoperte o armate, come si dice, di un medesimo metallo o di una medesima lamina, sia pure d'argento (4).

Scoperto il circuito di siffatto fluido nervoso, per così dire di questo fuoco elettrico, si deduceva che tale fenomeno doveva produrre un'elettricità duplice, e cioè di due qualità dissimili o meglio contrarie, come è duplice l'elettricità che si ha nella bottiglia di Leida o nel quadrato magico, per la qual ragione appunto il fluido elettrico conchiude in essi il proprio circuito; infatti, quando i fisici fanno i loro esperimenti, non possono ottenere correnti e circuiti di elettricità, se non per un equilibrio da ristabilire, il che avviene o soltanto o soprattutto tra elettricità contrarie. Che in un solo e uniforme metallo poi si trovassero latenti dette elettricità, sembrava esser fenomeno del tutto lontano dalla natura e contrario alle osservazioni: dunque era ovvio che nell'animale esistesse e l'una e l'altra. Ma, affinché non rimanesse alcun dubbio che io, nell'eseguire l'esperienza, avessi potuto fornire un certa quantità di elettricità agli animali, fissai un arco di rame, rivestito di una lamina d'argento, a una bacchetta di vetro da reggere con la mano, mentre l'arco veniva avvicinato agli animali: pur avendo usato questa precauzione, tuttavia le contrazioni si manifestarono.

Svolti questi esperimenti all'aria libera, volemmo vedere come si comportasse l'elettricità dell'animale se lo si immergesse nell'acqua; in tale condizione, al solito gli avvicinai le estremità dell'arco, una all'uncino di ferro del midollo spinale, l'altra alle zampe: si manifestarono le medesime contrazioni che all'aria libera.

Ma in tale esperimento si presentò questa peculiarità; se, o coll'arco o con qualsiasi altro corpo conduttore, io toccavo soltanto l'uncino del midollo spinale dell'animale immerso nell'acqua, subito si manifestavano le contrazioni; il che io rapportai all'acqua che faceva le veci dell'arco. Perciò immersi l'animale, non, come prima, nell'acqua, ma bensì nell'olio, per vedere se si avessero contrazioni del pari che nell'acqua, oppure mancassero del tutto. Avvicinai, come prima, all'uncino del midollo spinale il medesimo corpo conduttore, e non si determinarono affatto contrazioni, appunto perché l'olio non ha la capacità di fare le veci dell'arco conduttore: il che contribuì molto a confermarmi nella precedente opinione (5).

Da questi risultati avendo capito che la duplice e contraria elettricità si trovava nello stesso animale preparato, mi parve di poter senza alcun indugio inferire, che o l'una avesse sede nei muscoli e l'altra nei nervi, oppure che l'una e l'altra si trovassero o nei muscoli o nei nervi, come i fisici affermano esistere nella pietra tormalina. Pertanto cominciai a cercare con ogni studio una tale sede; e dapprima indagai di che natura fosse l'elettricità che presentano i nervi. A tal fine preparai per l'esperimento rane, per quanto possibile uccise di fresco; e al loro midollo spinale sezionato avvicinai una bacchetta ora di vetro, ora di ceralacca; ma, usando la prima, non si ottennero mai movimenti muscolari; se ne osservavano, invece, quando si usava l'altra, anzi spessissimo fino ad una distanza di quattro o più linee, purché la colonna vertebrale fosse rivestita, come diremo fra poco, d'un foglio di stagno. Invece d'una bacchetta di vetro usammo spesso il disco della macchina elettrica, aggirato più volte, per vedere se la maggiore quantità d'elettricità raccolta nel disco fosse capace di produrre quelle contrazioni muscolari che la bacchetta non poteva; ma l'esperimento ottenne il medesimo esito: non si manifestarono nei muscoli movimenti, neppure minimi.

L'elettricità dei nervi, dunque, secondo questi esperimenti, sarebbe positiva, giacché i fisici dimostrano che soltanto tra elettricità contrarie si possono ottenere i noti effetti e movimenti.

Dipoi passammo a studiare l'elettricità dei muscoli: perciò ripetemmo più e più volte i medesimi esperimenti; ma né coll'elettricità positiva, né con quella negativa fu possibile provocare nei muscoli alcun movimento.

Ritornammo quindi all'elettricità dei nervi, che si palesava nei nostri esperimenti; e, studiandone le manifestazioni con la ceralacca, ci servimmo dei medesimi artifici già usati, quando le provocavamo mediante la scintilla. Si presentò quasi uguale il fenomeno delle contrazioni, sennonché in questo caso esse erano di gran lunga più notevoli di quelle ottenute con la scintilla, appunto in proporzione della forza dell'elettricità. Anche l'utilità dei conduttori fu la medesima e medesime le leggi, e del tutto nello stesso modo si manifestarono i movimenti muscolari.

Ma poiché, a scoprire un fatto così recondito e difficile, com'era la sede dell'una e dell'altra elettricità, niente pareva più opportuno che aumentare e rendere più evidente l'elettricità, cominciai a meditare sul modo di ottenere ciò: per ragioni d'analogia, la prima idea che mi venne fu di ricoprire i nervi, dove sembrava abbondare l'elettricità, della quale per di più conoscevamo la natura, di un foglio metallico, specialmente di stagno, così come i fisici sono soliti fare nel loro quadro magico e nella bottiglia di Leida (Fig. 9, [Tav. III](#)).

Con siffatto artificio le contrazioni muscolari si accrebbero in modo meraviglioso, a tal punto che, anche senza arco, ma al solo contatto di un corpo di qualsiasi natura - conduttore o anche coibente - con i nervi armati, si ottenevano contrazioni, purché gli animali fossero preparati di fresco e vigorosi; inoltre la forza e l'utilità dell'arco e di altri artifici si palesava di gran lunga maggiore; infine, le contrazioni si manifestavano notevolissime e di lunga durata e quasi costanti, negli animali che erano vegeti prima di sezionarli, anche se si allontanava l'arco o il corpo con cui si toccavano i nervi armati.

Ma a che dilungarsi? Fu tale la virtù e la potenza di questo ritrovato nell'accrescere la forza di siffatta elettricità, che quello stesso circuito, il quale a malapena o neppure a malapena si otteneva coll'uso degli uncini e dell'arco, si presentava invece così felicemente e prontamente da chiudersi nella piccola rana non solo con una catena formata da due uomini, ma anche con la catena di tre e talora più uomini, determinando le solite contrazioni muscolari, specialmente d'estate, e con animali vecchi dai muscoli bianchi, e col cielo tempestoso. Se poi si ricoprivano in parte d'un foglio metallico il cervello e il midollo spinale, messi a nudo, di animali preparati, col solito mezzo dell'arco si suscitavano contrazioni forti e pronte, anche quando, senza l'aiuto di quell'artificio, inutilmente prima io avevo tentato di provarle mediante l'arco o qualsiasi altro mezzo.

Avendo constatato una così grande potenza del foglio di stagno applicato ai nervi, nell'accrescere l'elettricità animale, stabilii di sperimentare anche qual potere avesse quel foglio sui muscoli; ma mi sembrò che le contrazioni non se ne giovassero molto. Anzi, ripetuto più volte il tentativo, finalmente ci accorgemmo che le contrazioni, suscitate avvicinando l'arco agli organi armati, aumentavano poco se solo i muscoli erano ricoperti d'un foglio di stagno; aumentavano molto, se erano armati solo i nervi o il midollo spinale o il cervello; si accrescevano pochissimo invece se tanto queste parti quanto i muscoli erano ricoperti dal solito foglio di stagno.

E non soltanto si intensificavano le contrazioni mediante il foglio metallico applicato al midollo spinale messo a nudo, ma anche quando se ne ricopriva la spina vertebrale, fornita ancora dei propri muscoli, sia fuori sul dorso, sia internamente nel cavo addominale, specie se la si rivestiva in quei tratti, in cui fuoriescono i nervi. Né aveva importanza se quelle parti, e specialmente i nervi, fossero rivestiti di un foglio spesso o sottile; bastava solo che questo ci fosse e si avvicinasse ad esso un'estremità dell'arco e l'altra ai muscoli. Al posto del foglio metallico adoperammo poi, con uguale risultato, un'amalgama elettrica, aspergendola sotto forma di polvere sul nervo, oppure spalmando su questo una pasta formata di polvere d'amalgama e d'olio. Se invece usavamo un'altra polvere metallica, per esempio di ferro o di rame, sia pure allo stesso modo, a malapena si aveva un aumento dei movimenti muscolari (6).

Scoperto questo metodo di accrescere di tanto siffatta elettricità, ricercammo poi con maggiore alacrità e fiducia la sua sede. Quindi, ricoperto del medesimo foglio un nervo e un muscolo, dapprima asportammo dall'animale un muscolo col nervo corrispondente, lo ponemmo sopra un piano coibente, e, come al solito, gli accostammo l'arco; facemmo lo stesso e su un muscolo intatto e su un muscolo tagliato, cioè avvolgemmo una parte di esso in un foglio metallico, poi avvicinammo un'estremità dell'arco alla parte armata del muscolo scoperto; ma con questi tentativi non ci fu possibile ottenere quasi nessun risultato utile alle nostre ricerche.

Soltanto arrivammo a stabilire che, in un muscolo asportato dall'animale insieme col nervo, si manifestavano contrazioni di gran lunga meno notevoli che non quando essi rimanevano nell'animale al loro posto naturale. In un muscolo intatto poi esse erano ancor più piccole e più deboli, anzi molto difficilmente si manifestavano: se ne otteneva qualcuna, avvicinando un'estremità dell'arco al punto armato del muscolo, l'altra al punto vicino e scoperto del muscolo stesso; mentre, fatto l'esperimento in altro modo, non se ne manifestavano affatto. Analoghi risultati si ottenevano anche, per quanto con molto maggior difficoltà, nella sostanza interna del muscolo; però le contrazioni si manifestavano molto più facilmente e più prontamente, se l'arco, come al solito, si avvicinava al nervo armato, anzi se invece dell'arco si adoperava l'estremità sia pure piccola di un corpo conduttore, e si toccava con essa in parte l'orlo del foglio metallico, in parte il nervo scoperto.

Le nostre ricerche intorno alla sede dell'elettricità animale ottennero soltanto questi risultati: dai quali appare evidente che, non avendo potuto chiarire quel punto mediante gli esperimenti, è necessario affidarsi specialmente alle congetture (7). Ma di ciò parleremo fra poco.

Aggiungiamo ora alcune osservazioni che ci apparvero degne di attenzione durante le diligenti indagini su siffatto genere di elettricità; e in primo luogo il fatto che, mentre tale elettricità, se eccitata dall'elettricità comune, agisce, come dicemmo, anche alla distanza di diverse linee, invece da sola non agisce neppure a distanza piccolissima, ma richiede sempre il contatto per manifestare la sua forza; purtuttavia notammo che spesso le contrazioni si ottengono più sicuramente, più prontamente e più vigorose, se l'estremità dell'arco si avvicina all'orlo del foglio metallico, da cui sono avvolti i nervi o i muscoli, che non se si avvicina alla superficie piana di quella; e così pure se essa si avvicina alla punta dell'uncino, piuttosto che alle altre parti di esso: da ciò appare chiaro che l'elettricità animale ha un comportamento analogo a quella per così dire comune e volgare, che ha come suo particolare carattere di prediligere gli angoli e le punte e di esserne attratta.

Questi indizi così perspicui e così chiari - a mio parere - intorno all'esistenza di elettricità nei muscoli e nei nervi, ci spinsero a fare con più cura altre indagini su di essa. A tal fine dapprima, invece del suddetto foglio metallico, rivestimmo in parte e i muscoli e i nervi d'una materia coibente, per esempio di seta ben imbevuta d'olio in cui si era sciolta della pece, per vedere se adoperando l'arco le contrazioni mancassero affatto, oppure no: mancarono completamente. Però, per impedire le contrazioni fu necessario non solo adoperare la seta, ma prepararla come si è detto; infatti la seta da sola non era sufficiente ad impedire le contrazioni, giacché essa facilmente si bagnava e si imbeveva della linfa animale, che è conduttrice, e neppure bastava l'olio da solo, giacché esso dava la possibilità alla punta dell'arco di venire a contatto colla parte sottostante.

Dipoi indagammo se siffatta elettricità si comportasse allo stesso modo dell'elettricità comune anche nel trovare più facile via attraverso alcuni corpi conduttori, più difficile attraverso altri (8). Constatammo che tale analogia esiste, e in primo luogo che, come l'altra elettricità, così questa è meglio condotta dal metallo che dal legno. Ma, tra i metalli, meglio la conducono l'oro e l'argento, meno il piombo e il ferro, tantopiù se arrugginito; cosicché, se l'arco, o i piani che fanno le veci dell'arco, sono fatti di metallo, specie d'argento, o - come è più comodo - sono rivestiti di sottilissima lamina d'argento, il fenomeno delle contrazioni si manifesta di gran lunga più chiaramente e più prontamente che se essi fossero costruiti, per esempio, di piombo o anche di ferro. Indagato il potere di conducibilità nei corpi solidi, lo sperimentammo anche nei corpi fluidi, e il risultato fu analogo: trovammo cioè che una siffatta elettricità passa facilissimamente attraverso quelli acquosi, mentre non è condotta affatto da quelli oleosi. Per fare questi esperimenti usammo piccoli tubi di vetro; ad una estremità li chiudevamo con un'adatta sostanza e attraverso questa facevamo passare un filo metallico, o d'argento o di rame, rivestito da un foglio di stagno, in modo che un capo di esso fosse libero nella cavità del tubo, l'altro giungesse lontano: i tubi poi, secondo l'esperimento che si voleva fare, venivano riempiti ora di acqua, ora di olio, e chiusi nello stesso modo all'altra estremità, dove pure veniva inserito un simile filo metallico. Fatto ciò, adoperavamo siffatti tubi in modo che essi formassero, coi fili metallici ripiegati, l'intero arco, oppure costituissero parte dell'arco, le cui estremità, come al solito, si avvicinavano all'animale.

Usando in tal modo questi tubi (Fig. 14, [Tav. III](#)), non si manifestavano contrazioni quando essi erano pieni di olio, bensì invece quando erano pieni di acqua.

Però, ad ottenere risultati utili da siffatti esperimenti, era opportuno studiare diligentemente il potere o coibente o conduttore anche delle diverse parti degli animali. Eseguendo tali ricerche, trovammo che tutte le parti degli animali sezionati conducono sempre liberamente questo genere di elettricità, forse per l'umidità, dalla quale sono bagnate o allo stato naturale o quando si sezionano e si preparano. Infatti, se le diverse parti solide, di fresco sezionate - le fibre dei muscoli, le cartilagini, i nervi, le ossa, le aponeurosi -, oppure le parti fluide - il sangue, la linfa, il siero, l'urina -, messe su un piano di vetro o chiuse in detti tubi, vengono avvicinate ai nervi preparati e soprattutto armati, e poi si avvicina a dette parti un'estremità dell'arco mentre l'altra tocca i muscoli, si hanno contrazioni quasi come se l'estremità dell'arco fosse stata applicata direttamente ai nervi. Lo stesso avviene se l'esperimento si dispone, per così dire, in modo inverso: se cioè gli organi asportati o i liquidi organici si collegano non ai nervi, ma ai muscoli, e un'estremità dell'arco si mette a contatto con tali sostanze, l'altra coi nervi armati. Però notammo che le cose si svolgono diversamente, se le parti solide non sono state sezionate molto di fresco ma, o naturalmente o artificialmente, sono divenute secche. Il fenomeno si manifesta non solo con queste parti ad arte asportate, ma anche colle medesime, lasciate nell'animale al loro posto naturale, o preparate lasciandole poco discoste dalla sede naturale. Infatti, se un'estremità dell'arco si avvicina ai nervi isolati e soprattutto armati, e l'altra tocca una qualunque parte intatta dell'animale, la quale, comunque, sia a contatto coi muscoli che corrispondono ai medesimi nervi, si ha il fenomeno quasi come se si avvicinasse a quei muscoli direttamente l'estremità dell'arco; e lo stesso vedemmo avvenire, non senza nostra meraviglia, con nervi e con muscoli dapprima tagliati e separati in due parti distinte, e poi di nuovo artificialmente congiunti. Infatti, se, preparate come al solito delle rane e rivestita la loro colonna vertebrale d'un foglio di stagno, si dividono fra di loro gli arti col coltello, in modo che essi rimangano congiunti solamente col proprio nervo corrispondente, poi un arto si allontana di molto dall'altro (Fig. 15, [Tav. III](#)), e in séguito si appoggia un'estremità dell'arco alla colonna vertebrale, l'altra ai muscoli, o soltanto alla zampa d'un arto; si muovono allora e si contraggono i muscoli di quell'arto. Ma se i medesimi arti a bella posta si congiungono di nuovo così che vengano a contatto, e poi allo stesso modo si adopera l'arco e si applica solamente alla zampa di prima, si muovono e si contraggono tutti i muscoli dell'uno e dell'altro arto. Così pure accade, se si seziona in due parti, secondo l'asse, la colonna vertebrale col midollo spinale e dipoi si separano le parti della colonna sezionata coi corrispondenti nervi, rimanendo gli arti fra di loro naturalmente congiunti; subiscono cioè contrazioni soltanto i muscoli di un arto, quando un'estremità dell'arco si avvicina ad una sola di dette parti della colonna vertebrale, l'altra alla zampa corrispondente; per contro presentano movimenti i muscoli di ambedue gli arti, quando le parti separate del midollo spinale siano di nuovo artificialmente congiunte, e l'arco con una estremità sia avvicinato ad un qualsiasi arto, coll'altra a dette parti congiunte; insomma i medesimi fenomeni si ottengono sia su un animale preparato col tronco intatto, sia col tronco diviso a metà dall'alto in basso, purché le parti divise siano di nuovo artificialmente congiunte e messe a contatto (Fig. 16, [Tav. III](#)).

Questi fenomeni sembra che non si possano bene spiegare, se non per mezzo dell'umidità frapposta alle parti, la quale favorisce il libero passaggio dell'elettricità animale. Potranno questi esperimenti apportare qualche lume intorno alla causa, ancora oscura del consenso dei nervi? Auguriamoci che fisiologi più sapienti possano un giorno scoprirla. Ma, a dimostrare la forza del consenso, si presta assai il seguente esperimento: se si preparano, come al solito, i nervi crurali delle rane, lasciando intatto il midollo spinale e il capo, e così pure intatti e al loro posto gli arti superiori, armato poi o il nervo crurale o la colonna vertebrale e avvicinato l'arco da una parte al punto armato del nervo, dall'altra al corrispondente arto, non soltanto si contraggono gli arti inferiori, ma si muovono anche i superiori, le palpebre, e le altre parti della testa; sicché sembra che il fluido neuro-elettrico, eccitato dal contatto dell'arco, passi bensì in massima parte dall'indicato punto del nervo ai muscoli, ma in parte anche si porti, su per i nervi, verso le parti superiori e giunga fino al cervello, esercitando in questo tale forza da eccitare di qui, comunque ciò avvenga, il movimento degli altri muscoli.

Sebbene sembrasse non potersi dubitare dell'elettricità animale, della sua presenza e del suo movimento nei nervi e nei muscoli, né del suo uscire da questi o da quelli, o dagli uni e dagli altri, né del suo libero fluire attraverso i corpi conduttori interposti, giacché tutto questo è confermato dagli esperimenti e dall'analogia e dal ragionamento; e sebbene comprendessimo come la nostra fortunata attività avesse offerto non piccolo frutto ai nostri esperimenti, giacché a noi forse per primi era stato fornito il mezzo, con cui era possibile rendere per così dire visibile tale elettricità e trarla dagli animali e quasi maneggiarla; pure - a dire il vero - non ci sembrava che l'argomento rimanesse completamente dimostrato e risolto in tutti i punti, né che fosse, a nostro parere, sufficientemente manifesto, se non avessimo potuto trovare anche il modo e il mezzo, per cui si ottenessero i medesimi fenomeni delle contrazioni, senza che i nervi e i muscoli fossero toccati in alcun modo da alcun corpo.

Temevamo cioè che forse quei fenomeni potessero, in qualche maniera, attribuirsi ad una irritazione meccanica, da parte dell'arco o degli altri strumenti, e che perciò appunto, dagli esperimenti descritti, non si potesse essere abbastanza certi di questo sottilissimo fluido elettrico che, scorrendo attraverso i nervi, provocava le contrazioni muscolari. Pensammo pertanto di sperimentare se, collegati i nervi ad una faccia del quadrato magico, per esempio a quella superiore, e i muscoli a quella inferiore (Fig. 20, [Tav. IV](#)), o al contrario (Fig. 13, [Tav. III](#)), e avvicinata un'estremità dell'arco a ciascuna delle due facce, in un punto molto discosto dalle parti sopra dispostevi dell'animale, si manifestassero o meno le contrazioni. Se infatti il fluido scorrente attraverso i nervi era elettrico e dal suo passaggio dai nervi ai muscoli nascevano le contrazioni, questo esperimento si sarebbe svolto come se si toccassero direttamente i muscoli e i nervi coll'arco, senza tuttavia che potesse sorgere alcun sospetto di aver esercitato su di essi uno stimolo meccanico. Eseguita l'esperienza, non senza soddisfazione vedemmo apparire le contrazioni. Queste anzi si manifestarono, collo stesso metodo, disponendo su un medesimo piano due superfici di vetro o di resina, armate al modo dei fisici, alquanto separate l'una dall'altra, in modo che i nervi stessero su una, i muscoli sull'altra, senza che fra di essi vi fosse alcuna comunicazione attraverso un corpo conduttore interposto (Fig. 18, [Tav. IV](#)).

Inoltre notammo che con questo artificio si avevano contrazioni senza che né i nervi né i muscoli fossero ricoperti del solito foglio metallico; infine ci accorgemmo che esse si manifestavano anche se si usavano due vasi d'acqua e si immergeva in uno, per esempio, il midollo spinale o i nervi, in un altro le zampe, e poi, al solito, si toccavano coll'estremità dell'arco le due superfici liquide (Fig. 19, [Tav. IV](#)).

Quest'osservazione ci dette lo spunto ad investigare che cosa avvenisse, collocando i muscoli su un piano di vetro armato, e invece su un piano conduttore il midollo spinale, racchiuso nella propria teca ossea e congiunto ai propri nervi, fornito di uncino o armato come al solito; e dipoi che cosa si ottenesse, disponendo l'esperimento in modo inverso, cioè mettendo il midollo spinale su un piano di vetro, e i muscoli su un piano conduttore (sempre toccando coll'arco, come nel precedente esperimento, le due diverse superfici, su una delle quali era il midollo spinale, sull'altra i muscoli); infine che cosa avvenisse, appoggiando tanto il midollo spinale quanto i muscoli su un medesimo piano di vetro armato.

Le contrazioni furono alquanto deboli e si produssero con maggior difficoltà quando i muscoli giacevano sul piano di vetro, e il midollo spinale sul piano conduttore; invece si manifestarono notevoli, quando il midollo spinale fu messo sul piano di vetro, e i muscoli sul piano conduttore; ma, quando i muscoli e il midollo vennero posti sul medesimo piano di vetro armato, le contrazioni furono di gran lunga più notevoli e più durature, e a volte si manifestavano e si reiteravano spontaneamente e senza l'uso dell'arco, specie se si provocava qualche lieve scossa o movimento del piano di vetro armato: a tal punto che quelle parti d'animali sembravano quasi cadute in gravissimo tetano. Se poi vogliamo paragonare questo fenomeno con quello che si descrisse al principio, cioè quando si disse come, messi i muscoli e il midollo spinale sul medesimo piano conduttore, si provocassero le contrazioni col premere l'uncino contro il piano o con gli altri metodi indicati, facilmente si comprende che quelle contrazioni furono di gran lunga minori di quando un simile esperimento si faceva su un piano di vetro armato: prova, questa, importante, che l'elettricità animale, pur disperdendosi

attraverso i corpi conduttori meno di quella comune e volgare, tuttavia si disperde, ed è trattenuta e si accumula nei corpi coibenti come l'altra: il che nei successivi esperimenti si vedrà - a mio parere - anche più chiaramente di quello che sinora si è visto. Infatti, prima di smettere queste ricerche, volli sperimentare se il fenomeno delle contrazioni avvenisse non soltanto usando piani di vetro o di resina, ma anche con piani di marmo ben levigato, per togliere il dubbio, fissatosi nel mio animo che quelle contrazioni, da me attribuite all'elettricità animale, fossero provocate invece dall'elettricità del piano armato vitreo o resinoso. Pertanto ripetei su piani di marmo armati tutti gli stessi esperimenti, come li avevo condotti su piani di vetro o di resina, e tutti si svolsero quasi allo stesso modo; però le contrazioni si presentarono alquanto deboli, così che si dovette ricorrere a quegli artifici, con cui si accresce la forza dell'elettricità animale, cagione delle contrazioni. Perciò fu necessario spesso armare la superficie del piano di marmo, o una parte di essa (giacché è indifferente adoperare due piani oppure uno solo diviso in due parti mediante le armature); fu necessario, ripeto, per ottenere le contrazioni, armarla di un metallo, per esempio stagno o argento, e armare invece la superficie dell'altro piano (o l'altra parte dello stesso piano) di rame o di oricalco. E ciò forse perché l'elettricità animale, come pure quella comune e volgare, suole essere meno idoneamente trattenuta dal marmo che dal vetro o dalla resina.

Però non bisogna passare sotto silenzio il fatto che, se un'estremità dell'arco è di sostanza coibente, allora, avvicinata, come prima, ai piani armati, non provoca affatto contrazioni; ma esse vengono provocate, se quella stessa estremità o qualunque altro corpo coibente viene avvicinato, come già dicemmo, ai nervi armati o al midollo spinale.

Osservati con interesse questi fenomeni nelle rane morte e coi nervi sezionati, desiderammo ripetere l'esperimento anche sulle rane vive, coi nervi ora intatti ora sezionati. Perciò, tolti i tegumenti e messo a nudo e armato il nervo crurale in quella parte dell'arto, che può paragonarsi al poplite, dov'esso scorre quasi scoperto, avvicinammo al solito l'arco al nervo e ai muscoli; si ottennero spesso delle contrazioni, che si manifestavano poi sempre, se, dopo aver sezionato il nervo e dopo averlo armato, lo si stendeva su un piano di vetro e si accostava l'arco, nello stesso modo come prima, da un lato ai muscoli e dall'altro sia al nervo, sia soltanto al piano. Esse mancavano invece o del tutto o quasi se il piano, su cui si stendeva il nervo, era conduttore e non isolato. Da ciò appariva chiaro che la detta elettricità si comporta quasi allo stesso modo e negli animali vivi e negli animali morti.

Trovati tanti e - a mio parere - chiari indizi della forza dell'elettricità animale, volli sperimentare se, a raccogliarla e a renderla palese, giovasse, come dicemmo che avviene per l'elettricità estrinseca e volgare, la solita preparazione dei nervi e l'accurata dissezione di essi dalle altre parti: e constatai che in tal modo realmente si otteneva un grandissimo vantaggio. Infatti, se, aperto il cranio soltanto oppure la colonna vertebrale, lasciando intatto tutto il resto, si rivestiva il cervello o il midollo spinale di un foglio di stagno, e poi si avvicinava un'estremità dell'arco alla parte armata, l'altra alla zampa, si manifestavano alcune contrazioni negli arti superiori, ma nessuna o a malapena qualcuna in quelli inferiori; se ne manifestavano poi di più, sensibilmente e gradatamente, a mano a mano che, scorticato e sventrato l'animale, i nervi sempre più venivano dissecati dalle altre parti; finché, essendo finalmente i nervi del tutto separati da esse e liberi a contatto solo dell'aria, le contrazioni si manifestavano evidenti e violente, pur adoperando allo stesso modo il medesimo arco. Da ciò appare chiaro che l'elettricità animale trova forse un passaggio, dai nervi alle parti vicine, sia per mezzo dell'umidità, sia per mezzo dei vasi linfatici o sanguigni inseriti ai nervi; eliminati questi vasi, i nervi rimangono liberi e isolati, e allora l'elettricità pronta al movimento, passando o tutta o in gran parte al punto armato e chiudendo il circuito, coll'ausilio dell'arco attraverso i muscoli e i nervi, produce contrazioni di gran lunga più notevoli che quelle prodotte prima d'una siffatta preparazione.

Tale fenomeno poi sembra fornire una nuova e importante prova dell'elettricità animale: e di qui forse può sorgere qualche sospetto, che l'accelerazione del circolo sanguigno e umorale nel movimento muscolare dipenda, del tutto o in parte, dall'elettricità che passa dai nervi ai vasi e vi dà impulso agli umori. Se questa congettura fosse ammissibile, forse si avrebbe la spiegazione del perché nei vecchi, nei quali molti vasi si occludono, l'elettricità, passando direttamente, con maggior forza, attraverso i nervi al cervello, spesso gravemente lo danneggia e renda l'età senile, anche per questo motivo, più soggetta alla paralisi, all'apoplezia e a simili malattie. Ma di questo si parlerà in altra occasione.

Perché le mie ricerche riuscissero utili, mi sembrò assai opportuno ripetere su animali a sangue caldo gli esperimenti finora eseguiti su animali a sangue freddo.

Comprendevo infatti che, se le scoperte fatte si riferivano soltanto ad animali a sangue freddo, io avevo trovato solamente alcune proprietà di tali animali, di non molto interesse; se invece io avessi potuto ottenere i medesimi risultati anche con animali a sangue caldo, mi si sarebbe aperta una grande speranza di giovare non poco, se non a spiegare pienamente, almeno a illuminare un po' la natura della forza muscolare e nervosa: e ciò necessariamente sarebbe stato d'aiuto per la fisiologia e d'utilità per la medicina. Pertanto si svolsero gli esperimenti, non una sola volta, ma ripetutamente, anche sui volatili e sui quadrupedi, e non soltanto si ottennero, come ci si augurava, i più importanti fenomeni, che si erano osservati negli animali a sangue freddo, per esempio nelle rane; ma essi si manifestarono con maggior facilità e con evidenza di gran lunga superiore. Si potè anche notare questa particolarità: messo a nudo in un animale vivo, per esempio in un agnello o in un pollo (Figg. 20 e 21, [Tav. IV](#)), il nervo crurale, rivestito di lamina metallica e disteso sopra un piano di vetro armato, si ottenevano contrazioni senza adoperare l'arco, ma al solo contatto d'un corpo conduttore col piano stesso; disteso per contro il nervo su un piano metallico, non si manifestavano mai contrazioni, se non si avvicinava, come al solito, l'arco all'animale (9).

Dunque, qual prova più adatta e più fondata di questa, a dimostrare che l'elettricità animale si diffonde dai nervi ai corpi vicini e, come avviene dell'elettricità comune e volgare, è raccolta dai corpi coibenti ed è dispersa da quelli conduttori? Tali sono i risultati ai quali noi siamo giunti con questi esperimenti.

Vogliamo per ultimo avvertire il lettore, che l'elettricità animale, da noi scoperta, come ha in comune con l'elettricità volgare molte altre proprietà, così in ispecial modo è simile a quella nell'incostanza, nella varietà e nel suo quasi rinnovarsi dopo un certo tempo. Infatti, particolarmente in questi ultimi esperimenti, le contrazioni ottenute variarono non soltanto secondo la diversa specie di animali, ma anche secondo le differenze di natura, età, condizioni, robustezza di ciascuno di essi; sicché in alcuni si ebbero subito forti contrazioni, in altri con difficoltà e a malapena sensibili. Variarono anche le contrazioni secondo le stagioni e persino secondo le condizioni atmosferiche.

Così, d'estate e col cielo procelloso le contrazioni sogliono essere maggiori e più pronte che d'inverno e col tempo sereno; osservammo però che allora si esaurisce più presto nell'animale la forza onde sono provocate. Similmente esse sono più forti e più pronte negli animali vecchi che nei giovani, in quelli vigorosi che in quelli deboli, infine negli animali con muscoli esangui e pallidi che in quelli i quali li hanno pieni di sangue e rosseggianti.

Inoltre le contrazioni, nel medesimo animale preparato, ora sono deboli, ora forti, talvolta anche nulle; talora si ottengono ai primi tentativi, talaltra solo dopo parecchi.

E questa così grande varietà di effetti, ossia di contrazioni, si osserva non soltanto a grandi, ma anche a brevi intervalli di tempo.

Infine le contrazioni indebolitesi, dopo un certo tempo e un certo riposo di nuovo aumentano e si rinvigoriscono, talora quasi spontaneamente; anzi, anche quelle che erano del tutto cessate, quasi spontaneamente si rinnovano, senza che siano, almeno in apparenza, mutate le cause esterne e le circostanze: allo stesso modo dell'elettricità del quadrato magico e della bottiglia di Leida, la quale, dispersasi per via di ripetuti esperimenti, dopo un certo tempo sembra quasi rifarsi e rinnovarsi colla quiete e col riposo.

Affinché coloro, che intendessero riprender questo genere di ricerche, conoscano meglio l'uso e l'utilità dell'arco, giova notare pure che, quando son venute ormai meno quelle contrazioni, le quali - specie se i nervi sono armati - si manifestano talora dapprincipio al solo contatto di un qualsivoglia corpo conduttore, basta ricorrere all'uso dell'arco per vederle riapparire; se poi vorranno valersi del contatto dell'arco colle superfici di un piano armato, allora occorrerà farlo o subito o poco dopo la preparazione dell'animale.

Diamo questo avvertimento, affinché qualcuno, riprendendo le nostre ricerche, non si inganni nel valutare la forza delle contrazioni e dell'elettricità, oppure non stimi che noi ci siamo ingannati. Infatti, se egli rifarà più volte questi stessi esperimenti, più volte anche otterrà, colla pratica e coll'esperienza, quei fenomeni che noi abbiamo riferito (10).

PARTE QUARTA

Congetture e corollari

Dai fatti fin qui riconosciuti e studiati, a mio parere è chiarissimo che negli animali esiste dell'elettricità, che noi chiameremo, col Bartholon e con altri, col nome generico di elettricità animale. Essa si trova, se non in tutte, in moltissime parti degli animali; ma si manifesta soprattutto nei muscoli e nei nervi. Sembra che essa abbia la caratteristica, non prima conosciuta, di passare rapidamente dai muscoli ai nervi, o piuttosto da questi a quelli, attraversando subitamente l'arco, o una catena d'uomini, o qualsiasi altro corpo deferente, che costituisca la via breve e spedita, e scorrendo per esso con grande velocità dai nervi ai muscoli.

Da ciò sembra che si possano trarre specialmente due induzioni: cioè che l'elettricità in queste parti sia duplice, una presumibilmente positiva, l'altra negativa, e che l'una sia per natura del tutto disgiunta dall'altra: altrimenti, si stabilirebbe l'equilibrio e non avverrebbero né movimenti o correnti di elettricità, né fenomeni di contrazioni muscolari.

Però, in quale delle parti si trovi l'una elettricità, in quale l'altra; se l'una cioè sia nei muscoli, l'altra nei nervi, oppure l'una e l'altra in uno stesso muscolo, e da qual parte fluisca, è troppo difficile stabilire. Tuttavia, se mi è lecito esprimere un'opinione riguardo a questo punto oscuro, io sarei inclinato a ritenere che l'una e l'altra elettricità abbiano sede nei muscoli.

Infatti, sebbene per ottenere le contrazioni muscolari sia per lo più necessario che un'estremità dell'arco si colleghi ai nervi, isolati dai muscoli, tuttavia da ciò non consegue che i nervi abbiano importanza per una loro propria elettricità, cioè che l'una abbia sede in questi, e l'altra nei muscoli; così nella bottiglia di Leida, sebbene si soglia applicare un'estremità dell'arco alla superficie esterna di detta bottiglia e l'altra al suo conduttore, perché si abbia il passaggio dell'elettricità dall'una all'altra superficie, tuttavia non è lecito dedurne che l'elettricità, che si manifesta nel conduttore, sia propria di esso e dissimile da quella, che è raccolta nel fondo della bottiglia; anzi è risaputo che essa spetta del tutto alla superficie interna carica e che ambedue le elettricità, sebbene contrarie, si trovano raccolte nella medesima bottiglia.

Perciò, se si considera il gran numero delle contrazioni che si ottengono in un animale preparato - numero cui non sembra affatto poter corrispondere una minima quantità di elettricità quale potrebbe essere contenuta nella piccolissima parte di nervo che rimane, dopo il taglio, unita ai muscoli preparati -; se inoltre si tengono presenti le molte prove, fornite dalle funzioni animali, le quali chiaramente dimostrano che il fluido nervoso, già da noi dichiarato fluido elettrico, liberamente e rapidissimamente scorre attraverso i nervi; se infine si ha una spiegazione chiara e facile dei fenomeni, facendoli derivare dall'una e dall'altra elettricità, che abbiano sede nei muscoli, come in séguito dimostreremo, non sembrerà essere lontano dal vero il congetturare, che appunto il muscolo sia la sede dell'elettricità da noi studiata e che il nervo abbia solo la funzione di conduttore.

Ammesso questo, non sarebbe forse né inopportuna, né lontana del tutto dalla verità un'ipotesi o congettura, la quale paragonasse la fibra muscolare quasi ad una piccolissima bottiglia di Leida o ad altro simile strumento elettrico, fornito di duplice e contraria elettricità; il nervo d'altra parte si potrebbe paragonare al conduttore della bottiglia e il muscolo intero alla sua volta ad un ammasso di bottiglie di Leida. Che l'elettricità poi, la quale si trova in uno stesso muscolo, possa essere duplice e contraria, non sarà difficile da ammettersi se si consideri come la fibra muscolare, sebbene, a prima vista, semplicissima, tuttavia sia composta di diverse parti - solide e liquide - per la presenza delle quali si trova in essa una grande varietà di sostanze. Fra l'altro la presenza, nella fibra stessa, di sostanza nervosa, del tutto dissimile dalla muscolare, è dimostrata chiaramente dalla sensibilità, che in qualunque punto del muscolo si manifesta. Poiché questa sostanza nervosa, che è in ogni punto della fibra, non ha niente a che fare coi nervi e non è visibile, ma si conosce soltanto grazie alla sensibilità, che cosa ci vieta di congetturare che essa sia, almeno in parte, dissimile dalla sostanza dei nervi visibili o diversamente disposta, ed abbia forse pertanto natura elettrica, e che invece sia soltanto conduttore il nervo che si prolunga fuori della fibra muscolare? Ma ciò riuscirà più chiaro in séguito a quello che fra poco diremo intorno ai nervi. Che esista una duplice elettricità nella stessa fibra muscolare riuscirà poi ancor più difficile a negarsi da chi ritenga non improbabile né lontano dal vero esservi nella medesima fibra due superfici opposte, una esterna ed una interna: e ciò in considerazione sia della cavità, che in essa parecchi ammettono, sia della diversità delle sostanze, di cui dicemmo che si compone, diversità per la quale non possono mancare nel muscolo varie e piccole cavità e quindi superfici. Infine, se si pensa per un momento alla pietra tormalina, nella quale le più recenti scoperte inclinano a far credere esservi elettricità duplice e contraria, per analogia si desumerà una nuova prova, che renderà una siffatta ipotesi non del tutto priva di fondamento. Ma, comunque sia, ci è sembrato di constatare fra la scarica del fluido elettrico della bottiglia di Leida e le contrazioni da noi studiate tanta somiglianza di cagioni e di fenomeni, che non abbiamo potuto recedere da tale ipotesi e da tale paragone, né trattenerci dal credere che quella scarica e queste contrazioni derivino da un'analogia causa.

Infatti, soprattutto con tre artifizi si sprigiona l'elettricità dalla superficie interna della bottiglia di Leida: pel contatto del conduttore di essa con un corpo buon conduttore, per l'avvicinamento dell'arco, e infine col fare scoccare la scintilla del conduttore di una macchina elettrica, come noi abbiamo recentemente osservato.

Ora, proprio con questi tre metodi abbiamo visto che si ottengono le contrazioni: cioè col contatto del nervo armato, che secondo noi fa da conduttore del muscolo, coll'avvicinare le estremità dell'arco al nervo e al muscolo, infine mediante la scintilla.

E, come fra quei tre artifizi il più adatto e il più valido, a scaricare l'elettricità della bottiglia di Leida, è l'uso dell'arco, così abbiamo visto che questo è anche il modo più opportuno fra tutti a provocare le contrazioni muscolari; inoltre abbiamo fatto già osservare che, come l'uso dell'arco a malapena riesce a far scaricare l'elettricità, se il conduttore non si eleva fuori dell'orificio della bottiglia e, soprattutto, non si inalza e dista da quella parte di essa, in cui è contenuta la materia conduttrice, così appunto l'arco a malapena serve a provocare le contrazioni, se i nervi sono tagliati vicino ai muscoli.

Ma, per quello che si riferisce allo scoccar della scintilla, la somiglianza è ancor più evidente di quanto finora abbiamo detto; a far comprendere bene ciò, dobbiamo premettere che noi, per caso, avevamo osservato come, al buio, accanto alla punta del conduttore acuminato di una bottiglia di Leida carica riluca un fiocco luminoso, il quale dopo poco suole venir meno. Se allora, scomparsa tale luminosità, si colloca la bottiglia ad una certa distanza dal conduttore della macchina e si fa scoccare da esso la scintilla, il fiocco riappare nel medesimo istante in cui scocca la scintilla, per spegnersi subito dopo; e così alternativamente, allo scoccar della scintilla, esso risorge e scompare. Un siffatto fiocco costituisce una prova nuova e importante, da noi in vari modi sperimentata e sottoposta ad indagini, dell'analogia già prospettata; infatti, come allo scoccar della scintilla si ripresenta quella fiammella, così si manifestano, secondo quanto abbiamo detto, le contrazioni. E allo stesso modo che, qualora alla superficie esterna della bottiglia si applichi un conduttore, specie se in comunicazione colla terra, nel momento in cui il fiocco provocato dalla scintilla è ormai cessato o sta per cessare, subito ad una nuova scintilla la luminosità riappare e si rinvigorisce; così, lo abbiamo pure già detto, congiungendo il medesimo corpo conduttore ai muscoli e facendo poi scoccare le scintille, le contrazioni di essi si rinnovano, se erano venute a mancare, o si rinvigoriscono, se erano sul punto di cessare. Inoltre, come allo scoccar della scintilla riappare il fiocco, sia il conduttore della bottiglia rivolto o meno alla macchina, così anche, lo abbiamo visto, si manifestano le contrazioni, si trovino o meno i nervi e il loro conduttore volti verso la macchina. Se poi si chiude quella parte del conduttore, che fuoriesce dall'orificio della bottiglia, in un tubo di vetro o di resina, il fiocco non appare: come, se si chiudono i nervi nel medesimo tubo, non si manifestano le contrazioni, sebbene tutto il resto del corpo dell'animale si trovi a contatto coll'aria libera.

Allo stesso modo che, se la bottiglia si colloca dentro un altro vaso di vetro rivestito esteriormente di lamina metallica, pel solo contatto di detto vaso esteriore, allo scoccar della scintilla, il fiocco si rinnova, se era venuto a mancare, o si rinvigorisce, se stava per cessare; così, messo il barattolo, in cui è chiuso l'animale, dentro il medesimo vaso (Fig. 3, [Tav. I](#)), pel contatto del vaso stesso si rinvigoriscono, durante lo scoccar della scintilla, le contrazioni, che andavano affievolendosi, o riappaiono di nuovo, se esse erano del tutto cessate.

Per contro, come manca del tutto, allo scoccar della scintilla, il fiocco elettrico, se il conduttore della superficie interna non si elevi oltre l'orifizio della bottiglia, o se, quantunque arrivi più in alto, si congiunga ad esso un altro conduttore, che si prolunghi fino alla superficie esterna della bottiglia; così cessano allo scoccar della scintilla, lo si è pure detto, le contrazioni, se il nervo non fuoriesce dai suoi muscoli corrispondenti e dalle parti contigue, oppure se, quantunque fuoriesca, si colleghi al detto nervo un altro conduttore, il quale giunga fino ai muscoli o ai loro conduttori (11).

Però, sebbene questa ipotesi e questo paragone siano abbastanza verisimili, tuttavia non mancano alcuni elementi, che sembrano essere in grave contrasto con essi. Infatti, o i nervi sono di natura idioelettrica, come molti ammettono, e allora non potranno affatto fungere da conduttori; oppure sono conduttori, e in questo caso, come potrà sussistere che dentro di essi sia contenuto un fluido elettrico animale, senza che esso vaghi e si diffonda alle parti vicine, a grave scapito, certo, delle contrazioni muscolari? Ma a questa difficoltà facilmente si può rimediare supponendo che i nervi nella parte interna siano cavi, o per lo meno costituiti di una materia idonea al passaggio del fluido elettrico, ed esteriormente invece di una sostanza oleosa e di un'altra materia tale da impedire il passaggio o il disperdimento del fluido elettrico, che scorre attraverso essi. Tal compagine strutturale dei nervi farà sì che essi possano adempiere alla duplice funzione - di condurre cioè il fluido neuro-elettrico e, nello stesso tempo, di impedirne il disperdimento - e risponderà benissimo sia all'economia animale, sia all'esperienza: ché per spiegare l'economia animale deve ammettersi sempre, a quanto pare, l'esistenza di spiriti animali racchiusi dentro i nervi; mentre l'esperienza ci dice che i nervi sono costituiti in buona parte di sostanza oleosa. Infatti non solo si ottiene dai nervi, per mezzo della distillazione, una grande quantità di olio, molto maggiore di quella che si ottiene dai muscoli; ma poi abbiamo anche ricavato dai nervi, coi metodi recenti, una quantità di gas infiammabile maggiore di quella che mai fu possibile ricavare da alcun'altra parte animale, e questo gas fu di tale natura che, acceso, produceva una fiamma più viva e più pura e molto più duratura di quella che suole produrre l'aria infiammabile ricavata dalle rimanenti parti: indizio importante, per certo, di una maggior ricchezza di sostanza oleosa nei nervi.

Né questa sostanza idioelettrica dei nervi, la quale ha il compito, a quanto pare, di non lasciar disperdere con grave danno il fluido elettrico nervoso, potrà impedire d'altra parte che lo stesso fluido, scorrendo attraverso la sostanza conduttrice interna dei nervi, esca da essi, all'occorrenza, per provocare le contrazioni, o passi attraverso l'arco ai muscoli con grande velocità, secondo la sua solita proprietà.

Come infatti in una bottiglia di Leida, il cui conduttore sia rivestito di cera, si ottiene tuttavia la scarica coll'avvicinare l'arco, se lo strato di cera sia sottile, oppure, nel caso sia piuttosto spesso (senza però superare, come noi molte volte sperimentammo, certi limiti), sia rivestito d'un sottile foglio metallico; così dal nervo, forse costruito da natura in simile modo, specie se artificialmente armato, il fluido elettrico potrà uscire e provocare le contrazioni.

Ci sia dunque lecito seguire una siffatta ipotesi, forse non infondata; da essa però noi subito recederemo appena che o gli scienziati ne dissentiranno o ne sarà trovata un'altra più opportuna, grazie alle scoperte dei fisici, o a nuovi esperimenti svolti sull'argomento.

Esporremo ora, intorno alla natura di questa elettricità animale, qualche considerazione basata su ciò che ci fu possibile dedurre dagli esperimenti sopra descritti. Questa elettricità ha alcune proprietà identiche a quelle dell'elettricità comune e volgare, altre a quelle dell'elettricità della torpedine e di altri animali simili.

Sono proprietà comuni con l'elettricità volgare le seguenti; in primo luogo essa passa senza impedimenti e facilmente attraverso quegli stessi corpi per i quali l'elettricità comune è solita scorrere, cioè specialmente attraverso i metalli e, fra questi, meglio attraverso i più perfetti e più nobili, per esempio l'oro e l'argento, poi per quelli meno nobili, come il rame, il ferro, lo stagno, il piombo, indi per quelli imperfetti, per esempio l'antimonio, in ultimo per le *minere* (*); passa anche facilmente senza impedimenti attraverso l'acqua e i corpi umidi; più difficilmente per le pietre, le terre, i legni; infine non scorre e trova la via del tutto impedita nelle sostanze vitree, resinose, oleose. Perciò avviene che, se i metalli sono stratificati sopra un piano coibente, detta elettricità suole, come quella comune e artificiale, accumularsi in essi e produrre effetti molto maggiori, cioè provocare contrazioni più notevoli e durature, che se i detti metalli comunicano liberamente con altri corpi conduttori.

- In secondo luogo, essa preferisce scorrere per la via più libera e più spedita, come per gli archi, gli angoli, le punte.
- In terzo luogo, ha natura duplice e contraria, cioè positiva e negativa.
- In quarto luogo, essa rimane aderente a lungo ai muscoli e si conserva costante per delle ore, come l'elettricità suole per lungo tempo rimanere aderente ai corpi per loro natura elettrici.
- In quinto luogo essa si rinnova spontaneamente e mantiene a lungo questa capacità.
- In sesto luogo, la sua forza si accresce di molto coll'ausilio della così detta armatura, fatta di quegli stessi metalli, con cui i fisici hanno l'abitudine di armare i corpi vitrei e resinosi.

Detta elettricità poi ha, in comune con quella della torpedine e di altri simili animali, soprattutto le seguenti proprietà. Essa forma cioè come un circuito da una parte all'altra dell'animale, ed esso si svolge o attraverso l'arco, o attraverso l'acqua, che, come i fisici fanno notare, fa le veci dell'arco. Da ciò appare chiaro che tale circuito non è solo proprio della torpedine o di animali simili, ma, mediante l'uso dei nostri artifici, della maggior parte forse degli animali. Inoltre, come sotto l'azione di quell'elettricità, così sotto l'influsso di questa mancano la sensazione quasi di una lieve aura, e l'attrazione e repulsione dei corpi leggerissimi; infine essa non produce, negli elettrometri finora inventati, indizi del più piccolo movimento.

D'altra parte la nostra elettricità animale presenta anche, in comune coll'elettricità della torpedine, la proprietà di non aver bisogno di essere provocata da precedenti artifici, come dallo sfregamento, dal calore o da altri simili mezzi; ma di essere preparata quasi ed approntata dalla natura e di manifestarsi al semplice contatto. Anzi è tanta la prontezza di agire dell'elettricità animale da noi sperimentata, che molte volte si ottengono contrazioni, soprattutto in animali di fresco uccisi e preparati, se si tocca la colonna vertebrale, nel tratto armato, anche soltanto con un corpo coibente; essi si manifestano poi spesso, se detto corpo coibente si spinge verso il foglio metallico in modo che il contatto del foglio stesso col nervo che esce dalla colonna vertebrale o aumenti o muti: il che non so se si possa affermare dell'elettricità della torpedine.

Sembra essere invece del tutto e soltanto proprio della torpedine e degli animali affini la capacità di emettere e indirizzare fuori della cute l'elettricità, a loro arbitrio e volontà, in modo che essa percorra fuori del corpo il proprio circolo; e ciò in tanta copia e in tanta forza da produrre, a detta dei fisici, la scintilla, da cagionare una scossa con forte sensazione dolorosa, e da produrre talora nei piccoli animali, che capitano nella zona del circuito, un colpo sufficiente ad ucciderli o almeno ad intontirli e spaventarli. Ma questo sta ad indicare che in detti animali l'elettricità è in maggiore quantità e più forte, non di diversa natura; e forse un tempo si potranno trovare artifici che permettano di ottenere simili effetti anche da altri animali.

Noi poi non solo abbiamo scoperto, negli altri animali, la forza e il comportamento di detto circuito elettrico, ma anche il decorso e i mezzi; questo potrà dare forse qualche lume intorno al medesimo circuito nella torpedine e negli animali affini; così come da più diligenti indagini ed osservazioni sugli organi, destinati a tali funzioni in questi animali, i nostri ritrovati potranno, a loro volta, esser meglio chiariti. Gli apparecchi forse saranno gli stessi, e uguali saranno i termini del circuito elettrico, cioè muscoli e nervi.

Basti quello che si è detto intorno alle qualità e alla natura dell'elettricità animale. Poche considerazioni ora sulla sua fonte. Io riterrei che questa sia la stessa, che i fisiologi fino ad oggi hanno ammesso per gli spiriti animali, cioè il cervello. Infatti, sebbene noi abbiamo ammesso che l'elettricità si trovi nei muscoli, tuttavia non siamo dell'opinione che da questi essa anche emani, come da propria e naturale fonte.

Poiché tutti i nervi - sia quelli che giungono ai muscoli, sia quelli che pervengono alle altre parti del corpo - sembrano essere del tutto simili per aspetto e per natura, chi, a buon diritto, potrebbe affermare che non tutti trasportino un fluido di natura uguale? Ma già prima abbiamo dimostrato, che nei nervi dei muscoli scorre fluido elettrico; dunque ne scorrerà in tutti i nervi. Pertanto essi da una sola, comune fonte, cioè dal cervello, principio e origine di tutti loro, attingeranno il medesimo fluido: altrimenti tante sarebbero le fonti quante sono le parti in cui terminano i nervi, mentre, essendo tali parti del tutto dissimili per natura e per conformazione, non pare che esse siano idonee a creare e secernere un fluido, come è necessario, unico.

Dunque noi riteniamo verisimile, che il fluido elettrico sia prodotto dal lavoro del cervello e provenga dal sangue, e che esso entri nei nervi e scorra nel loro interno - sia che essi siano cavi e vuoti, sia che, come pare più probabile, essi trasportino una leggerissima linfa oppure un altro simile e speciale tenuissimo fluido, prodotto, come i più ritengono, dalla corteccia cerebrale. Se così sarà, la natura degli spiriti animali, finora ignota e inutilmente studiata con lunghe indagini, finalmente forse risulterà chiara. Comunque stiano le cose, certamente nessuno - a mio parere - porrà in dubbio d'ora innanzi, in séguito a questi nostri esperimenti, l'elettricità di tali spiriti. Sebbene io, spinto soltanto dal ragionamento e da alcune osservazioni, ne avessi parlato, finora per primo, nel nostro pubblico Teatro Anatomico, e già da tempo ne avessero accennato molti illustri scienziati, pure non avrei mai creduto che la fortuna mi sarebbe stata amica a tal punto da concedere, forse a me per primo, di maneggiare, per così dire, l'elettricità nascosta nei nervi e di trarla fuori di essi e di porla quasi sotto gli occhi di tutti.

Fatte queste premesse e date queste indicazioni, passo ora, per prima cosa, a fornire alcune spiegazioni riguardo specialmente alle contrazioni muscolari, da noi ottenute nei nostri esperimenti: riferirò poi su quanto riguarda i movimenti non solo naturali e volontari, ma anche involontari e morbosi, al fine di trarre qualche utile dalle nostre osservazioni, se è lecito estendere - come noi riteniamo non senza ragione - queste nostre considerazioni dagli animali, e specialmente da quelli a sangue caldo, all'uomo.

Dagli esperimenti eseguiti è facile dedurre, che lo scorrere celere e violento del fluido neuro-elettrico, dal muscolo al nervo, è il motivo principale da cui sono eccitati le contrazioni e i movimenti muscolari.

Ma è troppo difficile a sapersi, e rimane tuttora completamente oscuro, in qual modo lo scorrere dell'elettricità provochi le contrazioni: se esso agisca per esempio esercitando un'irritazione ed uno stimolo meccanici sui nervi o sulle fibre muscolari, tali da eccitare la cosiddetta irritabilità di queste; oppure se, mediante il suo velocissimo passaggio attraverso le fibre muscolari produca, secondo la solita caratteristica dei fluido elettrico comune, una violenta e particolare attrazione fra le particelle che le compongono, sì che le fibre si accorcino per lo stringersi ancor più delle particelle fra di loro; oppure agisca in un altro modo non ancora conosciuto, come è più facile credere. Forse molti e molti altri esperimenti saranno necessari per ottenere in futuro qualche luce intorno a questo argomento. Ora però è da cercare, prima di tutto, in qual modo e per quali cause avvenga, nei suestipiti esperimenti, il passaggio di detta elettricità dai muscoli ai nervi: e una risposta non sarà difficile a trovarsi nella dianzi riferita ipotesi.

Desidero in primo luogo far notare, che due condizioni specialmente si richiedono, o almeno sono assai opportune, a provocare le contrazioni delle quali sinora abbiamo parlato.

La prima condizione è che si determini una cagione, capace di richiamare il fluido neuro-elettrico dal muscolo al nervo e di spingerlo ad uscire; la seconda è che ci sia un corpo, che raccolga in sé il fluido stesso alla sua uscita dal nervo, e lo faccia passare al muscolo, per così dire restituendoglielo, oppure lo trasporti e disperda altrove. Mancando l'una o l'altra di queste condizioni, anche il fenomeno delle contrazioni viene a mancare.

I mezzi che richiamano e quasi forzano il fluido neuro-elettrico a passare dal muscolo al nervo, pare che siano soprattutto questi: l'improvviso venir meno dell'equilibrio tra l'elettricità interna dei muscoli e dei nervi e quella esterna dei corpi, che sono meglio in comunicazione coi nervi; inoltre la stimolazione dei nervi stessi; il contatto di un corpo, soprattutto conduttore, o direttamente coi medesimi nervi, o con corpi conduttori in comunicazione coi nervi stessi; infine una certa commozione, o una specie di leggerissimo sfregamento della sostanza nervosa, come quando si provocano contrazioni col semplice urto del piano, su cui si trova l'animale preparato (12).

E' chiaro che siffatti stimoli possono ascriversi in parte alla rottura dell'equilibrio, in parte ad una specie di impulso, sia pure minimo, sui nervi.

Il fluido elettrico poi, che accorre per questi motivi verso i nervi, sarà raccolto da un qualsiasi corpo conduttore, che lo trasporterà dai nervi ai muscoli, se il corpo stesso, a guisa di arco elettrico, mette in comunicazione quelli con questi; lo trasporterà invece altrove, se è in comunicazione soltanto coi nervi o con corpi a contatto dei nervi e se è di una certa grandezza.

Ora però, notati e fissati questi punti, passo a dare la spiegazione dei movimenti muscolari da noi osservati, e, in primo luogo, di quelli che si ottengono allo scoccare della scintilla.

Mediante la scintilla, si sottrae elettricità sia dagli strati di aria, che sono intorno al conduttore della macchina, sia dai conduttori dei nervi a contatto di detta zona, e così la loro elettricità si fa negativa. Quindi l'elettricità positiva interna dei muscoli accorrerà verso i nervi, accresciuta di forze proprie e di quelle prese a prestito dall'elettricità esterna, sia artificiale sia naturale, affinché, raccolta dai conduttori dei nervi e diffondendosi attraverso essi, ricostituisca l'elettricità mancante e in essi stessi e nella suddetta zona d'aria, rimettendosi in equilibrio con la medesima elettricità esterna. Analogamente, in una bottiglia di Leida l'elettricità positiva della superficie interna, allo scoccar della scintilla, affluisce per le medesime ragioni più abbondante al conduttore e ne fuoriesce, com'è chiaramente dimostrato dal fiocco luminoso.

Da ciò si comprende facilmente quanto i conduttori dei nervi siano utili o anche necessari a raccogliere e a trasportare l'elettricità, e il loro costante rapporto colle contrazioni muscolari.

Sembra essere simile la causa e la spiegazione delle contrazioni muscolari, che, allo scoccar della scintilla, si ottengono in un animale racchiuso nella nostra macchinetta di vetro: infatti è da ritenersi che l'elettricità interna dei muscoli affluisca alla superficie interna del vetro, attraverso i nervi e i loro conduttori, per quella medesima legge dell'equilibrio, per cui cioè tanta elettricità affluisce alla superficie interna del vetro quanta ne fu tolta dall'esterna, mediante la scintilla.

Identica sembra anche essere la causa e la spiegazione del fenomeno nelle contrazioni, che avvengono quando i conduttori degli animali preparati sono collegati alla superficie esterna della bottiglia di Leida o sono posti vicino ad essa e la scintilla scocca dal conduttore della superficie interna.

Anzi, per questa legge delle superfici e dell'equilibrio, si spiega così bene e così chiaramente il fenomeno, che io non saprei biasimare chi colla medesima legge spiegasse anche quelle contrazioni, che si ottengono allo scoccar della scintilla dal conduttore della macchina elettrica, e ammettesse, per così dire, due superfici nella zona d'aria intorno al conduttore stesso, l'una interna riguardante il conduttore, l'altra esterna riguardante l'animale.

Ma, avvenga il fenomeno per questo motivo, o per quello, o per un altro non ancora conosciuto, nessuno porrà in dubbio che non sia uguale la causa del fenomeno in quelle contrazioni, le quali abbiamo detto manifestarsi quando il cielo è solcato da fulmini; infatti si comprende che allo scoppiar dei fulmini avviene nella zona d'aria intorno alla nube elettrica appunto ciò che accade nella zona intorno alla macchina elettrica.

Infine non è chi non veda come dalla medesima legge dell'equilibrio tra l'elettricità positiva dei muscoli e negativa della ceralacca, traggano naturalmente origine quelle contrazioni, che, come abbiamo detto, si manifestano quando la medesima ceralacca, sottoposta a sfregamento, è avvicinata ai nervi, e mancano del tutto, invece, quando si avvicina un vetro, pur esso sottoposto a sfregamento; così anche dalla medesima legge dell'equilibrio nascono le contrazioni, che, come già abbiamo riferito, si ottengono quando il clipeo dell'elettroforo viene sollevato dal suo piano resinoso.

Ma passo ora a quelle contrazioni, che si provocano sia per mezzo dell'arco, sia mediante il contatto di corpi conduttori coi nervi, sia collo stimolare i nervi, sia con altri mezzi già indicati; riguardo ad essi chi considererà, sia pure per poco, la natura e le tendenze, da noi riferite, dell'elettricità animale, comprenderà facilmente quanto quegli artifici siano idonei e ben scelti a richiamare ai nervi l'elettricità positiva interna dei muscoli, a raccogliarla e a trasportarla alla parte esterna dei muscoli, divenuta, come abbiamo spiegato, elettricamente negativa.

Ma, ammesso questo, si potrebbe chiedere per qual ragione si manifestino pure le contrazioni, se il nervo viene semplicemente toccato da un corpo coibente (come, talora si avvera nel caso che il nervo sia armato), o viene stimolato da esso oppure dall'elettricità artificiale.

In tal caso infatti vi è, sì, il contatto o anche l'urto, il quale, sebbene lieve, sarà capace forse di richiamare il fluido neuro-elettrico fuori del nervo; manca però del tutto, a quanto pare, il corpo, che raccolga detto fluido e, a cagione dell'equilibrio, lo conduca altrove, oppure, molto meglio, lo restituisca ai muscoli.

Però, considerati diligentemente i suddetti fenomeni e tenute presenti la natura e la proprietà del fluido neuro-elettrico - cioè che esso suole trovare libera e pronta la via e passare di repente dai nervi ai muscoli soltanto attraverso corpi conduttori - si vedrà forse che neppure in quel caso manca un corpo conduttore che faccia in certo modo le veci dell'arco: così potranno adempiere questa funzione le parti esterne fluide e umide dei nervi, o, soprattutto, le loro membrane spesse e dure, oppure le une e le altre. Perciò forse se si scopercia il cranio, si mette a nudo il cervello e si estrae il midollo spinale dalla colonna vertebrale ponendolo anch'esso allo scoperto, non si ottengono, come abbiamo detto, contrazioni muscolari, per quanto si applichi al midollo l'arco; si hanno invece se lo si armi d'un foglio metallico, il quale ben fa le veci della membrana mancante. Diversamente invece avviene, come abbiamo fatto notare, nei nervi: è sempre utilissimo armarli d'un foglio metallico, ma non è affatto necessario, perché la natura li ha rivestiti, fuori del cervello, di membrane spesse. Che se il foglio metallico, di cui per solito ricoprivamo i nervi, esercita, per così dire, le funzioni di un arco, ricordando ciò che dicemmo sull'utilità, per far aumentare le contrazioni, di un arco costituito di sostanze molteplici, forse si potrà ammettere che la maggior parte di quelle contrazioni, le quali, come già abbiamo riferito, sembravano manifestarsi al solo contatto, fossero provocate da un arco, formato in parte dal foglio metallico, in parte dalle suddette sostanze conduttrici dei nervi.

Se si ammetto questo, si avrà forse qualche possibilità di spiegare i movimenti muscolari che si manifestano in un animale vivo e che ora ci accingiamo a prendere in esame. Riguardo ai movimenti volontari, l'anima, con la sua meravigliosa potenza, potrà forse esercitare, per così dire, un impulso sul cervello, come è più probabile ammettere, oppure, fuori di esso, sul nervo da essa scelto. Per effetto di ciò il fluido neuro-elettrico subito affluirà dal corrispondente muscolo a quella parte del nervo, a cui mediante l'impulso è stato richiamato; qui pervenuto, dopo aver superato, con le sue forze in quel momento accresciutesi, la parte coibente della sostanza nervosa, sarà raccolto, all'uscita, o dall'umidità esterna del nervo o dalle membrane e da altre parti contigue conduttrici, e attraverso esse, come attraverso ad un arco, tornerà al muscolo, dal quale è partito: in tal modo, secondo la legge dell'equilibrio, alla parte delle fibre muscolari elettricamente negativa affluirà infine tanta elettricità, quanta ne era uscita prima dalla parte elettricamente positiva di dette fibre, grazie, come abbiamo supposto, all'impulso sul nervo. Forse con un ragionamento simile, anzi, a mio parere, meno complicato, si potrà spiegare il fenomeno nei movimenti involontari e innaturali: e ciò coll'azione di umori acri e stimolanti, che irritino i nervi o il midollo spinale o il cervello e, nello stesso tempo, richiamino il fluido nervoso, in modo che esso, raccolto dalle parti conduttrici, venga infine da queste, come se passasse attraverso un arco, restituito ai muscoli.

Secondo poi la diversa forza e il vario potere di stimolo e di conducibilità di questi acri principi, anche le contrazioni saranno diverse: saranno anche differenti a seconda della sede, che gli umori stessi occuperanno nelle parti nervose.

E infatti è facile capire che, quando siffatti umori si riversano fuori dei vasi e vengono a trovarsi tra la superficie della sostanza nervosa e l'involucro di essa, le contrazioni allora devono essere più violente e più durature, giacché in tal caso gli umori acri, effusi e stagnanti, non solo stimolano più violentemente il nervo, ma anche forniscono al fluido neuro-elettrico, per così dire, un'armatura più adatta e una specie di arco.

Perciò nelle affezioni reumatiche gravi, e soprattutto nella sciatica nervosa, nella quale, secondo quanto afferma Cotugno l'umore ristagna fra l'involucro e la superficie del nervo, non soltanto sogliono aversi acuti dolori, ma anche contrazioni muscolari nell'arto ammalato, così gravi e costanti, che spesso tale arto rimane contratto o a lungo o per sempre.

Perciò forse si hanno pure contrazioni muscolari o convulsioni tanto violente, tanto durature, e che così facilmente e a tanto breve intervallo si ripetono, per lo più con esito letale, quando umori acri e maligni ristagnano fra il cervello e la pia madre, o fra la pia e la dura madre, o fra le circonvoluzioni del cervello, oppure fra la superficie del midollo spinale o dei nervi e i relativi involucri. Questo avviene

spessissimo nel tetano, malattia il cui carattere principale è questo: dapprima quasi tutti i muscoli cadono in gravissime contrazioni toniche, sebbene un solo nervo talora sia colpito dalla malattia - il tetano infatti sopravviene a volte per la puntura di un nervo -; dipoi i muscoli ricadono spontaneamente e spesso nelle medesime contrazioni, talora soltanto in séguito ad un urto, sia pure leggero, o allo scotimento del letto, o del piano su cui poggia il letto dell'ammalato. E qualcosa di simile abbiamo già notato negli animali preparati e armati; sebbene si avvicinasse l'arco ad un solo nervo crurale, pure tutti i muscoli non soltanto di un arto, ma di tutti e due cadevano in contrazioni quasi toniche, e talora vi ricadevano spontaneamente al solo urto o allo scotimento del piano su cui si trovavano gli animali: sicché questi nostri esperimenti - a quanto pare - se non hanno scoperto la causa e la genesi di questa malattia e dei suoi sintomi caratteristici, offrono ai medici almeno qualche sentore di essa.

Ma, avanzate queste affermazioni e considerazioni intorno alle contrazioni muscolari sia blande e naturali, sia violente e morbose, era facile che io pensassi ad una nuova causa delle malattie contrarie, per esempio della paralisi, eccetera; che cioè esse sian dovute all'arresto del già descritto circuito di fluido elettrico nervoso, o dal muscolo al nervo o dal nervo al muscolo.

Il primo tipo d'interruzione potrebbe forse avverarsi se una sostanza oleosa o d'altra natura coibente venisse a trovarsi nella parte interna del nervo; l'altro, se una sostanza simile avesse inquinato l'umidità esterna del nervo o le membrane stesse o altre parti qualsiansi, attraverso le quali il fluido neuro-elettrico chiude il già detto circuito; potrebbe determinarsi l'uno o l'altro, se umori acri e soprattutto corrosivi provocassero lo spargimento della medesima materia e l'accumulo di essa e allo stesso tempo ledessero la sostanza e la compagine dei nervi o del cervello. Ma, sebbene quest'ipotesi sembri poter essere verisimile, specie in quelle paralisi e apoplezie, che lentamente e gradatamente invadono gli ammalati, invece in quelle che subitamente li stroncano, dovrebbe - a quanto pare - essere tutt'altra la causa del fenomeno.

Mentre io meditavo questo e simili argomenti, mi venne fatto di pensare ad una causa nuova non solo dell'apoplezia ma anche dell'epilessia: causa che io desunsi specialmente da ciò che mi occorre d'osservare spesso facendo uso dell'elettricità artificiale sugli animali.

Infatti, come l'elettricità artificiale, quando, mediante per esempio il conduttore d'una bottiglia di Leida, è diretta appositamente o sul cervello o sui nervi o sul midollo spinale, se si scarica su quelle parti con una certa abbondanza e forza, le stimola e fa cadere gli animali quasi in violente convulsioni; mentre se è molto più abbondante lede la sostanza di dette parti e le altera gravemente, rendendo gli animali paralitici o apoplettici, oppure, se è ancor più violenta, uccidendoli; così immaginavo che fenomeni uguali o simili potesse provocare l'elettricità animale nell'uomo, specie se, come suol fare l'elettricità comune, anche quella fosse capace di rapire e congiungere prontissimamente a sé dei principi tenuissimi, che ne accrescessero di gran lunga la forza, quali sarebbero i cosiddetti umori acri, qualunque sia poi la loro natura. Pensavo cioè che l'elettricità animale, in tal modo contaminata, passando, o dai muscoli o da altre parti, attraverso i nervi al cervello ed irrompendovi, provocasse ora l'epilessia ora l'apoplezia, secondo che maggiore o minore fosse la violenza del suo impeto sulla sostanza del cervello e dei nervi, e più grave o più lieve il suo grado di contaminazione. Tale violenta e impetuosa corrente d'elettricità animale verso il cervello attraverso i nervi può essere provocata dall'abbondanza e qualità degli umori maligni, che, ristagnando nel cervello, stimolano ed eccitano questo o i nervi; oppure, per tacere d'altro, da una grande e subitanea modificazione dell'elettricità atmosferica, specie se si produce un improvviso cangiamento di essa da positiva a negativa: mutamento forse non dissimile da quello che supponemmo determinarsi, allo scoccar della scintilla o alla scarica del fulmine, nella zona d'aria intorno al conduttore della macchina elettrica o intorno alla nube elettrica.

Ritenevo poi che a tutti dovesse riuscir chiaro quanto le cause, finora passate in rassegna, potessero più violentemente, più prontamente e più facilmente esercitare la propria azione, se gli umori acri e stimolanti si trovassero nel cervello piuttosto che nei nervi: infatti in quello tali malattie potrebbero forse designarsi come idiopatiche, in questi simpatiche. Però siffatte malattie saranno molto più gravi e si manifesteranno più facilmente, se l'elettricità animale viziata abbonderà nel corpo, e specialmente nelle parti muscolari e nervose. Perciò forse - pensavo fra di me - tali malattie colpiscono specialmente i vecchi, nei quali, e per essere stato ormai smesso l'esercizio delle fatiche, e per l'aridità degli organi dovuta alla vecchiaia, e per la densità della sostanza oleosa, principalmente nei nervi, determinata dalla diminuzione dell'insensibile traspirazione, da cui tanta quantità d'elettricità e di tenuissimi umori acri viene portata fuori del corpo, pare si accumulino una più abbondante quantità d'elettricità viziata. Così anche congetturavo che per il medesimo motivo tali malattie letali si sviluppino specialmente nell'imminenza di violente tempeste e mutazioni atmosferiche, oppure poco dopo, e cioè quando suole essere nell'aria elettricità in maggior copia; allora infatti si trova negli animali maggiore elettricità, come stanno a significare chiaramente le contrazioni, le quali, lo si è visto, si manifestano in quell'occasione con più violenza e con più prontezza. Dunque l'elettricità animale, viziata e aumentata oltre misura da queste ed altre cause, può - così mi sembrava - in un attimo irrompere con tale violenza e con tale impeto nella sostanza del cervello, da ledere gravemente nel medesimo istante la sua struttura e romperne i vasi: donde facilmente seguono immediate paralisi, mentre si stravasano gli umori, che poi, com'è noto, si possono ritrovare, effusi e stagnanti, nel sezionare i cadaveri. Queste ipotesi ed altre mi venivano in mente intorno alle cause di tali malattie e al loro modo di manifestarsi; ma comprendevo anche che tali ipotesi potevano per diverse ragioni incontrare molte e gravissime difficoltà da parte degli scienziati, e forse la loro disapprovazione, specialmente perché esse sono in aperto contrasto coll'opinione comune e ufficialmente accettata nelle scuole: che cioè i movimenti muscolari sono dovuti al passaggio del fluido nervoso dal cervello ai muscoli, non da questi a quello.

Ma, se fra l'altro si pensa a quella specie di aura, che gli epilettici facilmente e spessissimo avvertono salire dagli arti inferiori o dallo stomaco o dal basso ventre al cervello, e accusano nel momento in cui sono presi dalle convulsioni; se poi si pensa che a volte si può arrestare il progredire di quel male col legare strettamente una gamba mediante un laccio che impedisca e quasi intercetti la salita di quell'aura; se, ripeto, si tiene presente tutto ciò e insieme i nostri esperimenti, noi saremo facilmente perdonati per aver proposto simili congetture. Però, come dicevo, io le andavo ventilando soprattutto allo scopo, che i dotti le pesassero e le giudicassero.

Dopo aver supposta la causa delle contrazioni, non solo naturali ma anche morbose, e della paralisi, in base alla ormai conosciuta natura dell'elettricità animale, rimangono da dire alcune cose intorno alla cura di dette affezioni.

E, in primo luogo, questo si ricava dai nostri esperimenti: qualunque rimedio adoperato per curare tali malattie, compresa la stessa elettricità applicata esternamente, è necessario, perché possa giovare, che eserciti il suo potere soprattutto sull'elettricità animale, aumentandone o diminuendone o in altro modo mutandone la forza e il circuito. E perciò il medico, durante la cura, deve principalmente aver di mira tale elettricità e le sue condizioni.

Tralasciando di parlare di tutti gli altri rimedi, il cui potere sull'elettricità animale ci sarà fatto conoscere meglio di giorno in giorno da diligenti indagini e dalla pratica, passo senz'altro all'uso dell'elettricità esterna; e, per amor di chiarezza, parlerò prima della sua applicazione nelle contrazioni muscolari convulsive e reumatiche, poi nella paralisi.

E' anzitutto da considerarsi, a mio giudizio, il triplice modo d'uso dell'elettricità artificiale applicata al corpo umano: il primo è quello che può chiamarsi estemporaneo, per cui l'elettricità subitamente esercita la sua forza sulle parti del corpo umano che le siano sottoposte, per esempio quando agisce per mezzo della scintilla e soprattutto mediante quella specie di fulmine elettrico, che si ottiene scaricando la bottiglia di Leida; il secondo, quello per cui l'elettricità non agisce d'improvviso, ma gradatamente e col passar del tempo, congiungendosi forse e quasi combinandosi, per usare un termine chimico, con le parti, specie fluide, del corpo animale, come fa per esempio quell'elettricità, che i fisici moderni designano elettricità somministrata per bagno; l'ultimo è quello per cui si sottrae elettricità da un animale, come quando si adopera l'elettricità detta negativa dai medesimi fisici.

Ora consideriamo brevemente questi tre metodi rispetto alle suddette malattie. Per quanto riguarda le contrazioni muscolari convulsive, è chiaro a tutti come esse, secondo la nostra ipotesi, dipendano per lo più o dall'elettricità animale che, esuberante e contaminata nei muscoli, per ogni lievissima causa è richiamata dai muscoli ai nervi e al cervello; o soprattutto da umori acri ed irritanti, che eccitano il cervello o i nervi; oppure, come spesso avviene, da ambedue le ragioni.

Se si tratta del primo caso, la così detta elettricità positiva, in qualunque modo somministrata, non sembra poter riuscire utile, bensì di grave danno; quella negativa, come è chiaro, potrà invece giovare abbastanza.

Ma se si tratta del secondo caso, il medico potrà ripromettersi d'ottenere giovamento dall'elettricità positiva, fatta giungere, mediante opportuno artificio, ai nervi ammalati; infatti essa potrà con la sua forza scacciarne e allontanarne gli umori acri.

Dovrà dunque il medico distinguere con molta attenzione e con molte indagini la causa delle convulsioni, e, sebbene spesso siano forse in giuoco ambedue le cause, pure deve ricercarsi quale di esse sia la più importante: ciò che è difficile, ma non tanto da far perdere la speranza di poter talvolta riuscirvi. Così potrà essere per esempio indizio forse importante di elettricità esuberante l'abbondanza di elettricità atmosferica del momento o di poco tempo prima: quanto questa accresca la forza dell'elettricità animale, anche i nostri esperimenti dimostrano. Tale abbondanza si può ricercare e stabilire mediante l'uso di elettrometri atmosferici, nonché dall'aspetto delle nubi, dalla stagione, dalle procelle, dalla qualità dei venti, dalle fasi della luna e da altri segni indicati da illustrissimi fisici, e soprattutto dal Bartholon e dal Gardini. Un buon indizio di abbondanza di elettricità nell'organismo potrà anche essere fornito da un'insolita alacrità e celerità di movimenti, specie degli occhi, non dipendente da altra causa manifesta e congiunta a grande varietà e incostanza.

Potranno forse far nascere lo stesso sospetto quei cangiamenti, che suole produrre in noi l'elettricità artificiale: come un insolito calore interno, le aumentate secrezioni ed escrezioni - dell'alvo, delle urine, della saliva, del sudore, dell'insensibile traspirazione -, la celerità, grandezza e vibrazione del polso, l'uso inoltre di cibi contenenti principi idioelettrici, come aromi, liquidi oleosi e spiritosi; massime se di tali cangiamenti non appaiono altri motivi. Per certo la maggior parte di queste condizioni suole precedere le più gravi convulsioni ed altre affezioni nervose, come l'epilessia, la mania e simili.

I segni contrari ci potranno dare chiari indizi di elettricità negativa o mancante. Per contro, dell'elettricità cattiva o viziata daranno forse qualche indizio quegli stessi incomodi degli ammalati e quei sintomi morbosi che sogliono dimostrare ai medici la presenza e la violenza di umori acri.

Ma basti l'aver accennato questo, allo scopo di aprire una via all'indagine e alla conoscenza delle diverse condizioni, in cui viene a trovarsi l'elettricità animale.

Per quanto poi concerne le contrazioni muscolari reumatiche, giacché esse per lo più traggono origine soprattutto da materia acre e stimolante fermatasi nei nervi, è facile supporre che ad esse possano essere utili quasi tutti i metodi d'applicazione di elettricità positiva, usati però in questo modo e con questo ordine: dapprima si impieghi il cosiddetto metodo del bagno, per raccogliere nei muscoli più abbondante elettricità; poi si somministri elettricità colla scintilla; infine colla scossa: in modo cioè che dapprima gli umori stagnanti, per la forza meccanica e repellente dell'elettricità, rimangano attenuati, e poi più facilmente, aumentando l'impulso, vengano allontanati dalla parte ammalata.

Per la medesima ragione potrà giovare non meno anche l'elettricità negativa, soprattutto applicata sulla parte ammalata col nostro metodo, cioè coll'estrazione della scintilla o dal conduttore della macchina o dalla bottiglia di Leida, e specie se la parte malata viene fornita dei propri conduttori, di cui alcuni siano rivolti verso la macchina, altri siano in comunicazione colla terra. Questo metodo potrà forse esser reso più utile, coll'uso di grandi bottiglie di Leida o di molte di esse collegate ad un medesimo comune conduttore, oppure di macchine elettriche più potenti, come se ne possono costruire al tempo nostro; oppure, molto meglio, se si troverà il modo di poter dirigere e spingere l'elettricità animale da determinati muscoli a determinati nervi. Infatti, a nessuno sfugge che questo metodo è quello, fra quanti ne abbiamo esposti, capace di provocare, attraverso i nervi gravemente ammalati, lo scorrimento più violento di elettricità animale; il quale sembra costituire il più opportuno rimedio fra tutti a distruggere e ad allontanare dai nervi gli umori che vi stagnano e vi aderiscono. Perciò forse i movimenti muscolari, che abbiano origine, come dicemmo, dallo scorrere dell'elettricità dal muscolo ai nervi, sogliono arrecare notevole vantaggio e sollievo nelle affezioni reumatiche, e tanto più quanto più violentemente siano mosse - sia pure con qualche disturbo e dolore - le parti ammalate.

E se questo nuovo modo di somministrare l'elettricità negativa potrà essere con qualche utilità applicato o in dette malattie o in altre, quanto maggior profitto potremo noi sperare dall'elettricità atmosferica, se, mentre per esempio infieriscono tuoni e folgori, con cautela e prudenza forniremo di propri conduttori le parti ammalate, analogamente a quanto abbiamo consigliato per l'elettricità artificiale? E' forse questo il motivo per cui, secondo riferisce il Bartholon, arti contratti fin dalla prima età o paralitici per malattia riacquistarono la naturale elasticità e forza e mobilità, in séguito alla caduta di fulmini non lontano dagli ammalati?

Nei riguardi della paralisi, la cura mi sembra difficile e rischiosa: è difficile infatti riconoscere, se la malattia abbia origine da guasti nella struttura dei nervi o del cervello, oppure da una sostanza coibente che occupi l'interno del nervo o altre delle parti, per le quali riteniamo si compia nel nostro organismo il circuito dell'elettricità. Nel primo caso, l'elettricità artificiale, in qualunque modo applicata, potrà essere di poco giovamento, forse di molto danno. Nel secondo caso, mi pare che essa potrà riuscire alquanto utile sciogliendo la sostanza coibente o accrescendo la forza dell'elettricità animale.

Ma la pratica e l'esperienza renderanno forse un giorno del tutto chiaro l'argomento.

Per terminare, trarremo dai nostri esperimenti alcuni corollari non privi d'importanza né di utilità.

Da quanto si è detto, appare evidente che l'elettricità, sia artificiale sia atmosferica, ha sui muscoli e sui nervi un potere molto maggiore di quello che finora si conosceva; e che soprattutto dalla sua forza proviene all'elettricità animale tanta potenza, quanta se ne vide nei nostri esperimenti. Essa può cioè spingere l'elettricità animale medesima a muoversi e ad uscire dai muscoli e a scorrere più velocemente attraverso i nervi ed a provocare quindi vivaci contrazioni muscolari.

Dalla conoscenza di questi fenomeni si può forse schiudere una via, più ampia di prima, a trovare metodi nuovi e più utili, rispetto a quelli finora adottati, di applicazione dell'elettricità, oppure a scoprire le cause della corrispondenza tra le vicende della elettricità atmosferica e quelle della nostra salute, e tra gli improvvisi cangiamenti di quella ed alcune malattie.

Inoltre tali esperimenti stanno a dimostrare - a quanto pare - che durante la scarica dei fulmini e delle scintille non soltanto riaffluisce verso il cielo l'elettricità atmosferica, ma forse anche quella terrestre. Ci si può quindi domandare se per questo reflusso, allo scoppiare di grandi tempeste nel cielo, si manifestino nell'atmosfera mutamenti e vicissitudini non solo a causa di quei principi di diverso genere, che il reflusso trasporta seco dalle varie regioni del cielo, ma anche per quelli che trasporta nell'aria dalla terra: sempreché, come molti fisici ammettono, il fluido elettrico abbia la proprietà che dei più leggeri principi dei corpi, attraverso cui esso passa, alcuni scacci e disperda, ma altri anche rapisca e a sé congiunga. Ma questo è argomento che deve essere studiato specialmente dai fisici.

A tale reflusso poi di elettricità terrestre verso l'atmosfera potranno certo attribuirsi - in gran parte o in parte non indifferente - l'accrescimento più celere e più grande delle piante, che l'illustrissimo Gardini osservò dopo fulmini e tuoni e ritenne dovuto specialmente all'elettricità atmosferica congiunta ai vapori.

Infine, poiché siffatte contrazioni muscolari, che - come dicemmo - si hanno durante le tempeste atmosferiche, sono una nuova e non dubbia prova dell'elettricità atmosferica e delle sue influenze sull'economia animale, esse potranno, sia pure non senza difficoltà, condurre a scoprire non tanto le cause del terremoto quanto i suoi effetti su tale economia; sicché sarà utile, a nostro parere, ripetere gli stessi esperimenti durante i terremoti.

Ma poniamo termine alle congetture (13). Erano soprattutto queste scoperte intorno alle forze dell'elettricità - sia artificiale, sia atmosferica e procellosa, sia naturale - nel movimento muscolare, obbediente ai comandi dell'anima, quelle che io volevo comunicare agli scienziati, coll'augurio fervido che essi possano un giorno utilmente valersene.

Ma la pratica e l'esperienza renderanno forse un giorno del tutto chiaro l'argomento. Per terminare, trarremo dai nostri esperimenti alcuni corollari non privi d'importanza né di utilità.

Da quanto si è detto, appare evidente che l'elettricità, sia artificiale sia atmosferica, ha sui muscoli e sui nervi un potere molto maggiore di quello che finora si conosceva; e che soprattutto dalla sua forza proviene all'elettricità animale tanta potenza, quanta se ne vide nei nostri esperimenti. Essa può cioè spingere l'elettricità animale medesima a muoversi e ad uscire dai muscoli e a scorrere più velocemente attraverso i nervi ed a provocare quindi vivaci contrazioni muscolari.

Dalla conoscenza di questi fenomeni si può forse schiudere una via, più ampia di prima, a trovare metodi nuovi e più utili, rispetto a quelli finora adottati, di applicazione dell'elettricità, oppure a scoprire le cause della corrispondenza tra le vicende della elettricità atmosferica e quelle della nostra salute, e tra gli improvvisi cangiamenti di quella ed alcune malattie.

Inoltre tali esperimenti stanno a dimostrare - a quanto pare - che durante la scarica dei fulmini e delle scintille non soltanto riaffluisce verso il cielo l'elettricità atmosferica, ma forse anche quella terrestre. Ci si può quindi domandare se per questo reflusso, allo scoppiare di grandi tempeste nel cielo, si manifestino nell'atmosfera mutamenti e vicissitudini non solo a causa di quei principi di diverso genere, che il reflusso trasporta seco dalle varie regioni del cielo, ma anche per quelli che trasporta nell'aria dalla terra: sempreché, come molti fisici ammettono, il fluido elettrico abbia la proprietà che dei più leggeri principi dei corpi, attraverso cui esso passa, alcuni scacci e disperda, ma altri anche rapisca e a sé congiunga. Ma questo è argomento che deve essere studiato specialmente dai fisici.

A tale reflusso poi di elettricità terrestre verso l'atmosfera potranno certo attribuirsi - in gran parte o in parte non indifferente - l'accrescimento più celere e più grande delle piante, che l'illustrissimo Gardini osservò dopo fulmini e tuoni e ritenne dovuto specialmente all'elettricità atmosferica congiunta ai vapori.

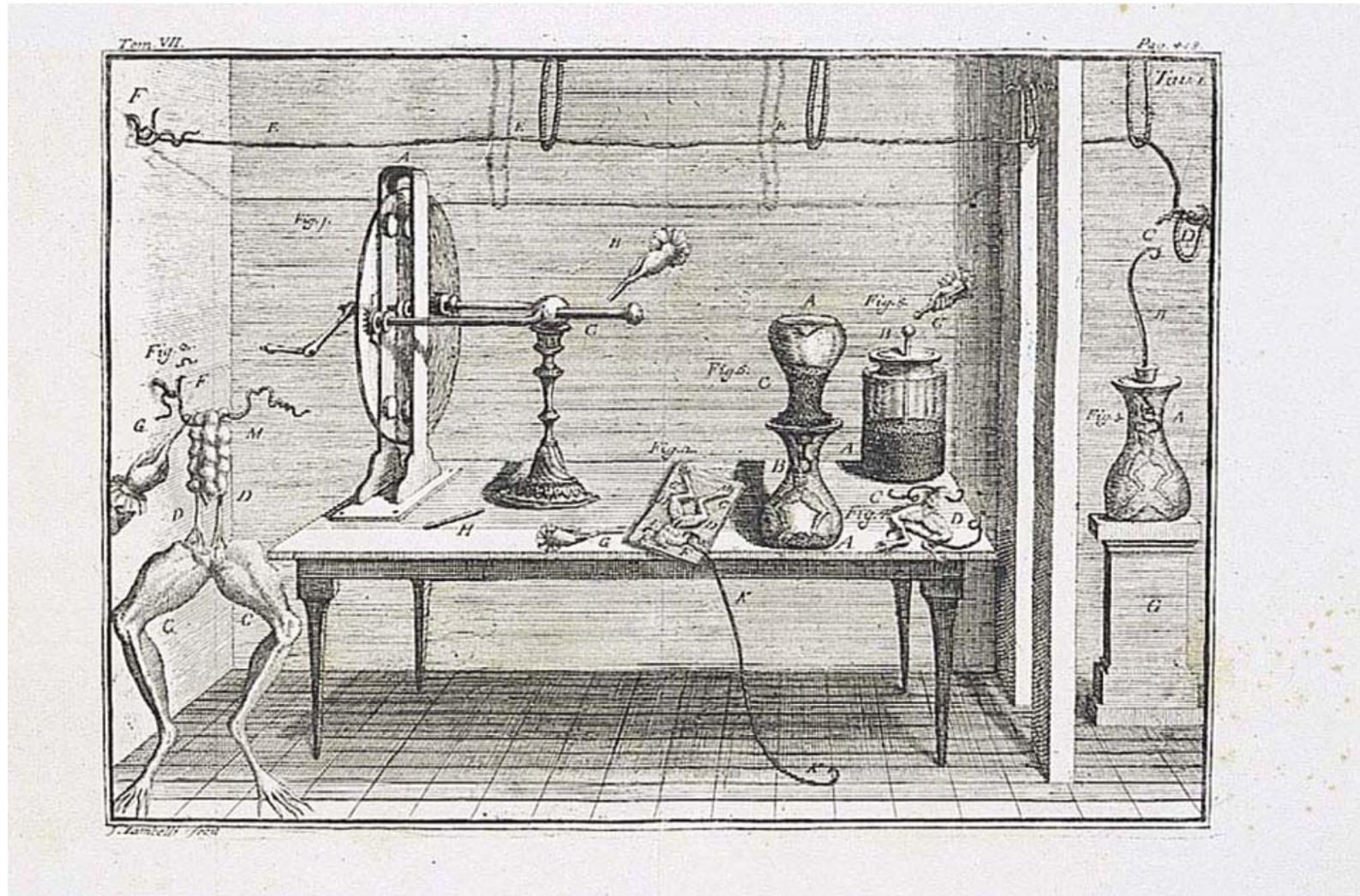
Infine, poiché siffatte contrazioni muscolari, che - come dicemmo - si hanno durante le tempeste atmosferiche, sono una nuova e non dubbia prova dell'elettricità atmosferica e delle sue influenze sull'economia animale, esse potranno, sia pure non senza difficoltà, condurre a scoprire non tanto le cause del terremoto quanto i suoi effetti su tale economia; sicché sarà utile, a nostro parere, ripetere gli stessi esperimenti durante i terremoti.

Ma poniamo termine alle congetture (13). Erano soprattutto queste scoperte intorno alle forze dell'elettricità - sia artificiale, sia atmosferica e procellosa, sia naturale - nel movimento muscolare, obbediente ai comandi dell'anima, quelle che io volevo comunicare agli scienziati, coll'augurio fervido che essi possano un giorno utilmente valersene.

Riguardo poi all'influenza delle suddette elettricità sui movimenti naturali, sulla circolazione del sangue e sulla secrezione degli umori, ne tratterò quanto prima in una seconda memoria, appena avrò un po' di tempo a disposizione.

Spiegazione delle figure (Edizione 1791)

TAV. I.



Rana preparata per l'esperimento.

CC. Arti inferiori.

DD. Nervi sacrali, i quali terminano nei nervi crurali detti di solito crurali interni.

F. Filo metallico che, passando per i forami della colonna vertebrale, attraversa il midollo spinale.

G. Bacchetta di ferro.

M. Colonna vertebrale.

Spiegazione delle figure (Edizione 1791)

TAV. I.

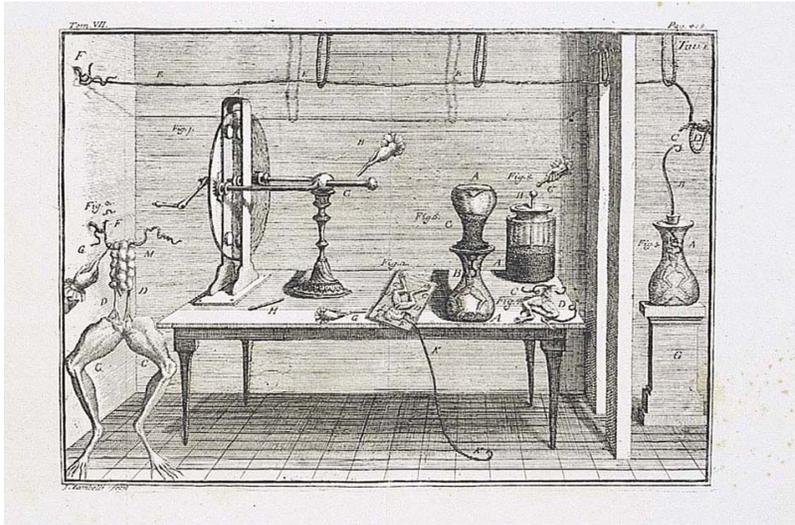


Fig. 1 Macchina elettrica.

A. Disco.

B. Bacchetta di ferro, con cui si estrae la scintilla.

C. Conduttore.

Fig. 2

CC. Arti inferiori.

DD. Nervi crurali interni.

E. Filo di ferro infisso attraverso il midollo spinale. F.

G. Bacchetta di ferro, colla quale si tocca il filo di ferro mentre si fa scoccare la scintilla dal conduttore della macchina.

H. Bacchetta di vetro, con cui si tocca il filo di ferro E mentre scocca la scintilla.

KK. Conduttori dei nervi.

Fig. 3

A. Barattolo di vetro, dentro cui è racchiusa una rana preparata.

B. Filo di ferro congiunto alla rana mediante un uncino.

C. Estremità del filo di ferro sospeso, a cui si congiunge il filo di ferro B.

D. Laccio di seta.

EEE. Filo di ferro che, congiunto col filo di ferro B, funziona da lunghissimo conduttore dei nervi.

F. Uncino di ferro, a cui è sospeso il filo di ferro E.

TAV. I.

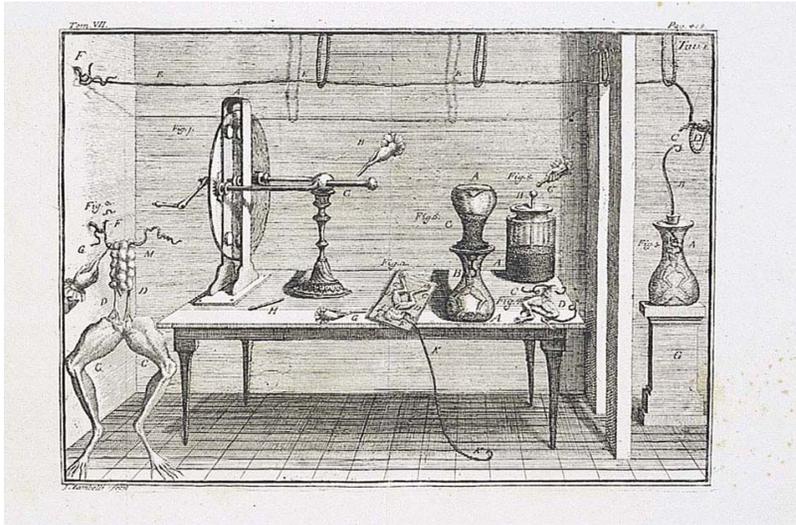


Fig. 4

- C. Conduttore dei nervi.
- D. Conduttore dei muscoli.

Fig. 5 Bottiglia di Leida.

- A. Pallini da caccia, contenuti nella bottiglia.
- B. Conduttore della bottiglia.
- C. Mano che fa scoccare la scintilla dal conduttore B.

Fig. 6

- A. Barattolo capovolto, entro cui si trovano pallini da caccia.
- B. Altro simile barattolo, contenente l'animale, le cui zampe sono a contatto di pallini da caccia che fanno le veci del conduttore dei muscoli.

TAV. II.

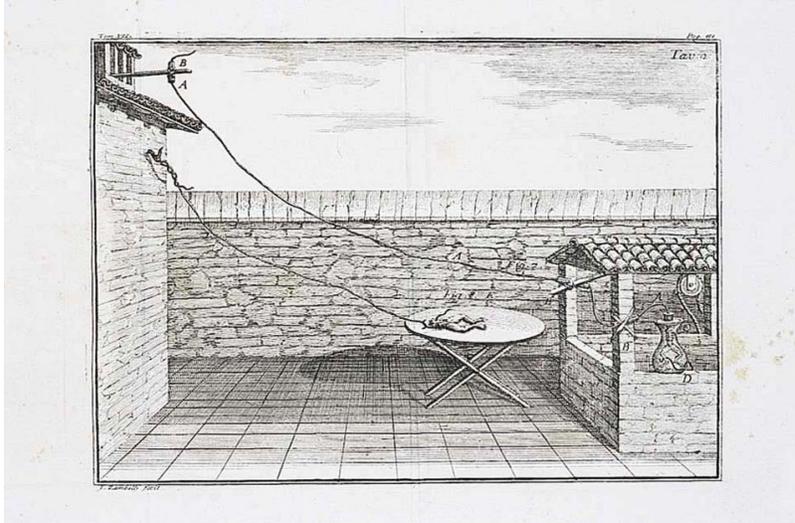


Fig. 7

AA. Filo di ferro isolato, ossia conduttore dei nervi.

BBB. Tubi di vetro, pei quali è fatto passare il filo di ferro allo scopo di isolarlo 2.

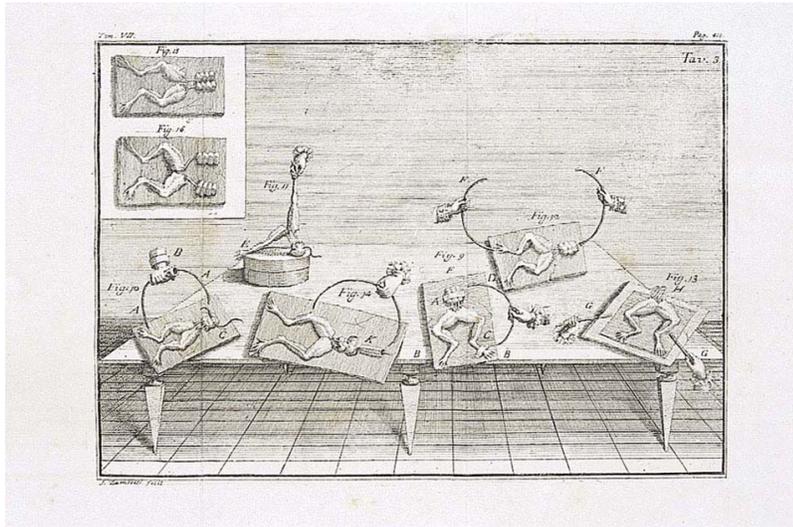
C. Vaso di vetro nel quale è posta la rana preparata al solito modo 3.

D. Filo di ferro ossia conduttore dei muscoli, di cui un capo è a contatto degli arti, l'altro capo si prolunga fino all'acqua del pozzo.

Fig. 8

E. Rana preparata come al solito e distesa su una tavola spalmata di sostanza oleosa.

F. Conduttore dei nervi non isolato, che è infisso con una estremità nel midollo spinale, con l'altra è sostenuto da un uncino di ferro fissato al muro.



TAV. III.

Fig. 9

A. Foglio metallico di stagno avvolto intorno alla colonna vertebrale di una rana preparata.

BB. Zampe.

C. Altro foglio metallico di ottone avvolto intorno ad una zampa.

D. Arco di rame ricoperto di un foglio d'argento.

F. Piano di vetro, su cui è posto l'animale.

Fig. 10

AA. Due archi inseriti in una bacchetta di vetro o di resina 4.

C. Uncino infisso nel midollo spinale.

Fig. 11 Rana preparata, di cui una zampa è tenuta sospesa, l'altra, insieme con la colonna vertebrale fornita di uncino, tocca il piano E coperto di una capsula d'argento.

Fig. 12.

FF. Due archi metallici, di cui uno è di rame, l'altro d'argento.

Fig. 13

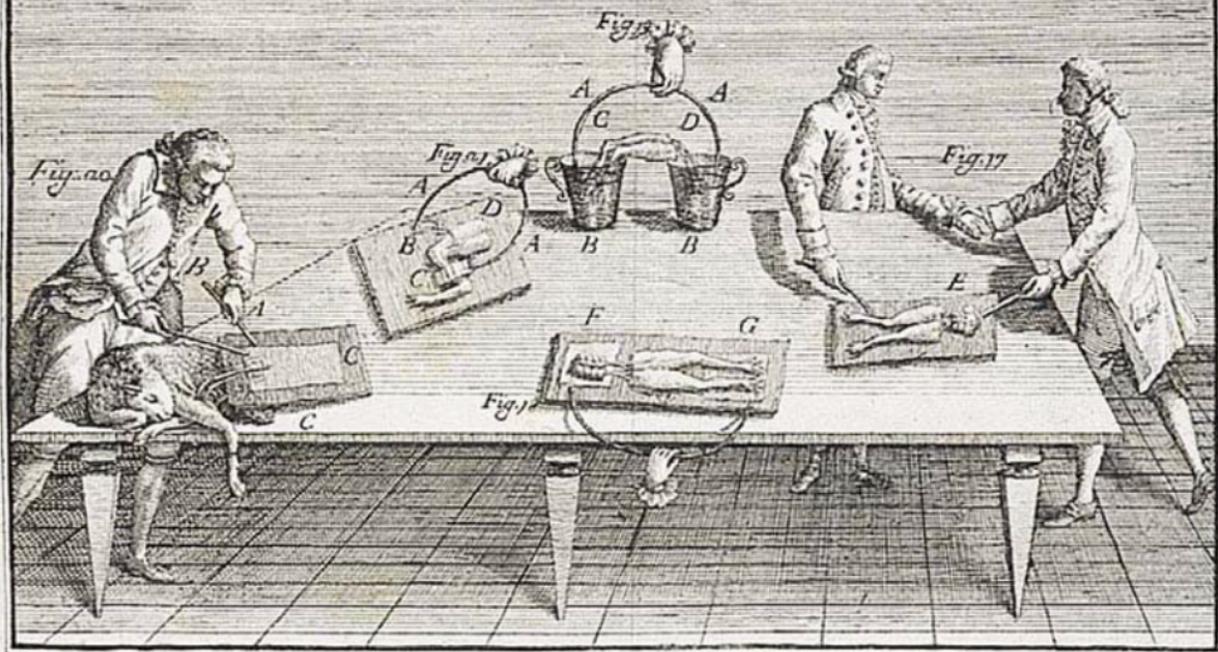
GG. Conduttori metallici, di cui uno è a contatto colla superficie armata superiore del quadrato magico, l'altro colla superficie inferiore.

H. I nervi della rana sono ripiegati sull'orlo del quadrato magico, in modo da toccarne, insieme col midollo spinale, la superficie inferiore.

Fig. 14 **K.** Tubo di vetro che si riempie di liquidi diversi 5.

Fig. 15 Arti inferiori disgiunti fra di loro 6.

Fig. 16 Arti inferiori disgiunti fra di loro con la colonna vertebrale spaccata per metà 7.



TAV. IV.

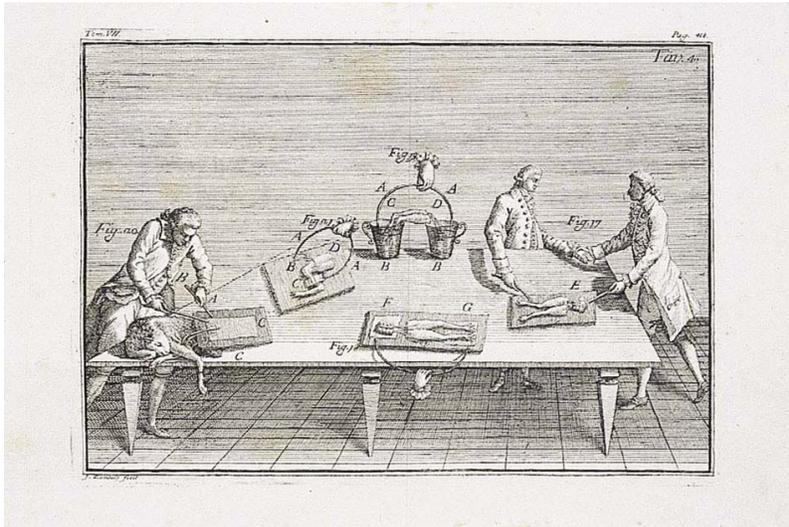


Fig. 17 ⁸Rana posta su un piano di vetro, col midollo spinale armato del foglio metallico E.

Fig. 18 Rana sopra un piano di vetro armato, in due distinte parti, di diversa lamina metallica.

F. Lamina d'argento.

G. Lamina di rame.

Fig. 19

AA. Arco metallico.

BB. Vasi di vetro pieni d'acqua ⁹, in uno dei quali sono immerse le zampe C di una rana, nell'altro i nervi D.

Fig. 20

A. Conduttore metallico, a contatto colla superficie armata inferiore d'un quadrato magico, la quale è appoggiata sopra i muscoli di un arto inferiore messi a nudo.

B. Altro conduttore metallico, col quale si tocca la superficie superiore del medesimo quadrato magico, sulla quale è disteso un nervo crurale armato.

CC. Superficie libera del quadrato magico.

Fig. 21 Arto inferiore di un pollo.

AA. Arco metallico.

B. Nervo crurale ¹⁰.

C. Fogli di stagno.

D. Muscoli sezionati del femore.

Note

1 - [Questa figura manca nella seconda edizione. La didascalia si riferisce certo alla prima figura in basso e a sinistra della [Tav. I](#), figura che nella tavola è contrassegnata con una lettera ?, ma anche col N. 2, evidentemente per errore del disegnatore. La successiva spiegazione della [Fig. 2](#) riguarda invece la figura, situata pressapoco nel centro della tavola, di una rana preparata col conduttore dei nervi, contrassegnata pure con una ? anziché, come dovrebbe, col N. 2]. (*Nota del traduttore*).

2 - [Nella seconda edizione si legge invece: « B - Bacchetta di vetro che ha in punta il filo di ferro A aguzzo, protetto, per mezzo di una superficie metallica conica, dall'esser bagnato dalla pioggia». La figura è pure analogamente modificata]. (*Nota del traduttore*).

3 - [Nella seconda edizione si legge: «Rana preparata al solito modo e posta sul piano orizzontale del pozzo». La figura è anch'essa opportunamente modificata]. (*Nota del traduttore*).

4 - [Nella seconda edizione è aggiunto: «... di cui uno si accosta all'uncino infitto nel midollo spinale, l'altro ai muscoli della rana messi a nudo»]. (*Nota del traduttore*).

5 - [Nella seconda edizione è aggiunto: «... ai quali si conduce l'elettricità animale per mezzo di un arco»]. (*Nota del traduttore*).

6 - [Nella seconda edizione la didascalia è così modificata: «Si ottengono contrazioni negli arti inferiori di una rana disgiunti fra di loro»]. (*Nota del traduttore*).

7 - [Nella seconda edizione: «Non solo gli arti inferiori sono disgiunti fra di loro, ma anche la colonna vertebrale è spaccata per metà»]. (*Nota del traduttore*).

8 - [Questa figura manca nella seconda edizione]. (*Nota del traduttore*).

9 - [Nella seconda edizione: «Due vasi di vetro pieni di sostanze liquide, in uno dei quali sono immerse le gambe di una rana, nell'altro i nervi. Un arco metallico è a contatto con ambedue i livelli liquidi»]. (*Nota del traduttore*).

10 - [Nella seconda edizione si aggiunge: «armato»]. (*Nota del traduttore*).