

RICERCHE ELETTRO-FISIOLOGICHE

SULLA CONTRAZIONE INDOTTA

TERZA MEMORIA

DEL PROFESSOR CARLO MATTEUCCI

Ricevuta adì 9 Agosto 1845. (1)

Colla denominazione di *contrazione indotta* s'intese in Inghilterra di esprimere un fatto fisiologico da me trovato, e descritto nel Capitolo 10° del mio *Traité des Phenomenes electro-physiologiques des animaux*. Abbracerò d'ora innanzi questa denominazione, avendo il vantaggio di esprimere con brevità il fenomeno e in qualche modo la sua natura.

Comincerò dal ricordare con brevi parole in che consista questo fatto, e le ricerche principali che io feci sulle prime onde scuoprirne le leggi.

Preparata una rana galvanoscopica si fa riposare il suo nervo sopra una o sulle due coscie di una rana preparata alla maniera ordinaria: ciò fatto applicando i poli di una pila sui plessi lombari della rana veggonsi, al contrarsi dei muscoli delle coscie, svegliarsi nello stesso tempo delle contrazioni nella gamba galvanoscopica di cui il nervo riposa sulle coscie dell'altra rana. Ho scoperto questo stesso fatto posando il nervo della rana galvanoscopica sul muscolo della coscia d'un

(1) Quando si incontreranno nella presente Memoria citazioni di figure, veggansi le tavole annesse alle due antecedenti Memorie dello stesso Autore inserite in questo Volume.

coniglio, facendo contrarre esso muscolo per mezzo d'una corrente che ne traversa il nervo. Ho pur visto accadere le contrazioni della rana galvanoscopica senza adoperare la corrente elettrica per far contrarre il muscolo che deve indurre le contrazioni, adoperando perciò uno stimolo qualunque sulla midolla spinale o sui plessi lombari. Tentai in fine queste esperienze, interponendo fra il nervo della rana galvanoscopica e la superficie muscolare inducente, strati sottilissimi di diverse sostanze. Una foglia d'oro o uno strato sottilissimo cobente di mica o di carta *glacé* interposta, impediscono il fenomeno, mancano cioè le contrazioni indotte nella rana galvanoscopica; mentre invece uno strato di carta fina e imbevuta d'acqua non arresta la contrazione indotta.

Dall'insieme di questi fatti si era guidati a concludere: 1° non potersi le contrazioni indotte nella rana galvanoscopica considerare dovute alla corrente elettrica diffusa, 2° ed essere invece portati ad ammettere una scarica elettrica durante la contrazione di un muscolo.

Onde appoggiare questa spiegazione delle contrazioni indotte col fatto, tentai un grandissimo numero d'esperienze che son descritte nel citato capitolo. Componevo perciò una pila di rane intere e chiudevo il circuito colle due estremità del galvanometro. Lasciato l'ago fissare toccavo i nervi delle rane componenti la pila con una soluzione di potassa, nel qual modo si svegliavano contrazioni in esse rane. Operando in tal guisa ho visto spesso accrescersi di qualche grado la deviazione, e indi l'ago retrocedere. Quando le rane erano state toccate più volte colla potassa o erano assai indebolite in maniera che toccandole di nuovo coll'alcali non vi fossero più contrazioni, m'è accaduto di non avere alcun segno d'aumento nell'ago del galvanometro nel maggior numero dei casi. Finalmente bagnando i nervi di rane disposte in pila con soluzioni acide o saline, la deviazione non cresceva mai, anzi diminuiva rapidamente.

Questi fatti, ai quali m'arrestai, potevano apparire in qualche maniera favorevoli all'idea che le contrazioni indotte fossero un effetto di una scarica elettrica che accompagna l'atto della contrazione muscolare: malgrado ciò terminavo il capitolo citato colle parole seguenti: « non oso punto affermare che la questione sia completamente risolta e mi sono arrestato non sapendo più per qual via avanzarmi per risolverla. »

L'importanza però del fatto delle contrazioni indotte mi è parsa sempre grandissima, ed è perciò che non ho mancato di darmi al suo studio in questi ultimi tempi con tutta l'attenzione e mi lusingo d'averlo fatto con qualche successo. Destino dunque questa Memoria alla descrizione minuta di tutte le esperienze che ho tentate sulle contrazioni indotte. Prego il lettore a perdonarmi della prolissità con cui lo farò.

Prima di tornare a nuovi studj sul fatto fondamentale delle contrazioni indotte, ho voluto rivedere e variare le esperienze di cui ho già dato un cenno e che avevo tentate onde scuoprire se v'era sviluppo di elettricità nella contrazione di un muscolo. Conveniva operare sopra pile di un maggior numero di elementi di quelle che avevo adoperate onde avere una deviazione fissa e maggiore. Pensai perciò che più propria di una pila di rane fosse una pila muscolare (1).

È oramai fuor di dubbio dopo le mie ultime esperienze che a numero eguale di elementi presi sulle stesse rane, la corrente muscolare è assai più forte della corrente propria. Ho recentemente dimostrato che allorquando per difetto di nutrizione, per temperatura molto bassa, per l'azione dell'idrogeno solforato ec. si trovano indebolite nella rana la cor-

(1) Colgo questa occasione per riferire un'esperienza fatta a provare l'esistenza della corrente muscolare nei muscoli dell'uomo vivo. Ho usato perciò il nervo della rana galvanoscopica, applicandola convenientemente sul muscolo della gamba messo allo scoperto da una ferita. Le contrazioni le più vive si svegliavano nella rana galvanoscopica ogni volta che il circuito era chiuso convenientemente fra l'interno della ferita e la superficie.

rente muscolare e la propria, la diminuzione è assai più grande per la seconda di quello che per la prima. E difatti componendo con tali rane la pila descritta alla pag. 116 del mio Trattato con mezze rane, ottenute tagliando la coscia a metà, trovo una corrente differenziale più o meno grande, ma sempre nel senso della corrente muscolare. Non è che con rane molto robuste, tagliando molto in alto la coscia e lasciando poca superficie dell'interno del muscolo allo scoperto, che si trova o nulla la corrente differenziale o questa nel senso della corrente propria. È questo il fatto che io vidi nelle mie prime esperienze e che mi spiego ora anche meglio dopo gli ultimi miei lavori, riflettendo che nel lasciare quasi intera la coscia si hanno due elementi, cioè i muscoli della gamba e quelli della coscia che mandano la corrente nello stesso senso, mentre uno solo è l'elemento della corrente muscolare che dà la corrente in direzione contraria.

Ritornando al soggetto di questa Memoria, dirò che ho adoperato una pila muscolare onde vedere se v'era sviluppo d'elettricità nella contrazione d'un muscolo. Ma poichè per eccitare le contrazioni nel muscolo ero costretto a bagnarlo con soluzioni saline o acide concentrate o meglio con soluzioni alcaline, mi sono occupato prima a studiare l'azione di questi liquidi sulla corrente muscolare. A questo fine ho preso in mezzo ad un gran numero di rane otto di esse che ho preparate alla maniera solita e da cui ho ottenuto 16 dei soliti elementi o mezze coscie. Ho chiuso il circuito, l'ago giunse a 90° e si fissò a 22° . Un'altra pila simile fu fatta dopo aver lavato varie volte nell'acqua pura ed in seguito asciugate le 16 mezze coscie, il risultato fu il medesimo. Altri 16 elementi uguali furono messi per pochi secondi in una soluzione diluita d'acido solforico e poscia lavati più volte nell'acqua, tanto che non arrossassero più la carta del tornasole. Composta la pila, chiuso il circuito s'ebbe una corrente nella direzione della corrente muscolare di soli 6° o 7° alla prima deviazione, e l'ago si fermò a 0° . Tagliai prontamente con forbici le

mezze coscìe in maniera da rinfrescare la superficie interna del muscolo: rifattà così la pila la prima deviazione fu anche più debole di quella or ora indicata.

Potendo credere che l' effetto della soluzione acida sugli elementi muscolari fosse stato di diminuirne la conducibilità, feci una pila muscolare di otto mezze coscìe prese sopra rane intatte a cui aggiunsi quattro coscìe intere prese da rane pure intatte: ebbi una corrente di 46°. Invece di adoperare le quattro coscìe intere, usai quattro coscìe intere che erano state nell'acido solforico e indi lavate; la corrente fu di 44°. La conducibilità non aveva dunque variato nelle mosse muscolari trattate colla soluzione acida. E per essere anche più certo di questa conseguenza, tentai l' esperimento già descritto usando per prolungare il circuito non le coscìe intere ma otto mezze coscìe trattate colla soluzione acida e riunite, facendo toccare insieme l' interno dell' una coll' interno dell' altra: il risultato fu il medesimo.

Ho ripetuto egualmente questa stessa esperienza, adoperando una soluzione di potassa abbastanza concentrata onde tuffarvi per pochi istanti gli elementi muscolari o le mezze coscìe. Questi elementi furono poscia lavati nell' acqua pura finchè non s' avevano più segni d' alcali. Composta la pila con 16 elementi, chiuso il circuito s' ebbero 10° a 12° nel senso solito della corrente muscolare e una deviazione fissa insensibile. Rinfrescato con un taglio l' interno del muscolo e ricomposta la pila, il risultato fu il medesimo. E anche in questo caso la conducibilità non aveva variato. Agiscono per conseguenza le soluzioni alcaline o acide sugli' elementi muscolari, come avevo visto agire l' acqua ad una temperatura elevata. Ho rifatto un' esperienza di questo genere e la riferirò solo per mostrare il suo accordo con quelle or ora riferite. Sedici mezze coscìe furono lasciate per pochi secondi nell' acqua a circa + 50° C. Tolti questi elementi dall' acqua, lavati con acqua fredda ne formai la pila, chiusi il circuito ed ebbi 12° di prima deviazione nel senso della corrente

muscolare, e l'ago si fermò a zero. Rifatta la pila dopo aver col taglio rinfrescata la superficie interna del muscolo, i segni della corrente furono come prima. Ed anche in questo caso mi sono assicurato che la conducibilità non era stata sensibilmente variata dall'azione dell'acqua calda. Aggiungerò infine che non è per le ripetute lavature nell'acqua pura alla temperatura ordinaria che si diminuisce l'intensità della corrente muscolare. Ho visto molte e molte volte la stessa deviazione, qualche volta più qualche volta meno, ottenuta da una pila di un dato numero di elementi o mezze coscie, talvolta lavate nell'acqua pura, talvolta no. Anche una soluzione di sal marino molto concentrata, in cui si lasciano per alcuni secondi gl'elementi muscolari, è capace di diminuire notabilmente i segni della corrente. Così mentre 16 elementi ordinarij danno una prima deviazione, che giunge sino a 90° , ed una fissa di 20° a 22° , se questi elementi sono stati per pochi secondi nella soluzione satura di sal marino, poscia lavati, si ottiene una prima deviazione che è di circa 60° , fissandosi poscia l'ago da 8° a 10° .

Eccoci dunque condotti a concludere che per l'azione delle citate soluzioni alcaline, acide, o saline molto concentrate, si distruggono negl'elementi muscolari le condizioni per le quali lo sviluppo d'elettricità ha luogo: nè questa conclusione trovasi in opposizione coll'origine da noi ammessa di questa corrente. Ma poichè per l'azione delle soluzioni acide od alcaline cessano o s'indeboliscono grandemente i segni della corrente muscolare, rimane a spiegarsi come nelle esperienze riferite nel mio libro e di cui ho dato un cenno al principio di questa Memoria, non s'abbia diminuzione della corrente in una pila di rane, toccandole colla soluzione alcalina, mentre si ha subito toccandola con una soluzione acida. Abbiamo anzi detto che operando coll'alcali alle prime contrazioni che si svegliano v'è in molti casi un sensibile aumento di deviazione che dura per pochi istanti. Cogl'acidi invece la deviazione cala immediatamente per ritornare poi

dopo qualche tempo. Vediamo di renderci conto di questi fenomeni, ma avanti tutto descriviamo le esperienze fatte più esattamente onde studiare se vi è sviluppo di elettricità nella contrazione. Preparo molte rane alla maniera ordinaria del Galvani, poscia taglio loro le gambe disarticolandole il meglio possibile. Mi trovo così colle due coscie di una rana unite al pezzo di midolla spinale. Taglio una delle coscie a metà e preparo così un certo numero d'elementi tutti simili fatti di una coscia intatta, del pezzo della midolla spinale, e di una mezza coscia. È facile ora d'intendere come con questi elementi compongo una pila muscolare, applicando cioè l'esterno della coscia intatta sull'interno della coscia dell'elemento successivo (fig. 13). Ciò fatto fo pescare le solite estremità del galvanometro nel liquido in cui terminano le due estremità di questa pila. Per mezzo di una piccola aggiunta ai manichi degli scandagli del galvanometro non ho più bisogno di tenerli colle mani perchè il circuito rimanga chiuso. Più e più volte ho ripetuta questa esperienza usando pile or di 12, or di 16, or di 20 elementi. Tanto la prima deviazione quanto quella fissa sono alquanto più deboli di quelle che s'avrebbero da un egual numero con pile di egual numero di sole mezze coscie. La differenza deve principalmente attribuirsi alla maggior lunghezza o resistenza del circuito. In tutti i casi lasciato fissar l'ago ad una deviazione che fu nelle diverse mie esperienze or di 10°, or di 12°, or di 15°, tocco prontamente i plessi lombari dei vari elementi della pila con una soluzione di potassa abbastanza concentrata, salvando però i soli elementi estremi nel timore che la soluzione alcalina potesse giungere nel liquido in cui pescano gli scandagli del galvanometro. Le contrazioni muscolari succedono immediatamente dopo l'applicazione dell'alcali, e si mantengono per qualche istante senza essere quasi mai tanto forti da interrompere la pila, staccando un elemento dall'altro. *Durante queste contrazioni l'ago del galvanometro sta fermo.* In qualche caso ho visto l'ago discendere, in qualche altro salire di

2° o 3°. Ma queste variazioni sono incerte, mancano nel maggior numero dei casi e corrispondono più spesso a dei movimenti troppo bruschi degl' elementi della pila, che ne disturbano i contatti.

Concludiamo dunque che la diretta esperienza risponde negativamente alla questione che ci siamo fatti, se v' era sviluppo d' elettricità nella contrazione muscolare.

Rimarrebbero così ad intendersi i fenomeni presentati, agendo sulla corrente propria e quindi adoperando rane intere, i quali consistono nell'ottenersi quasi costantemente segni d'aumento al primo toccare colla potassa i plessi lombari delle rane, mentre al contrario trattando con soluzione acida, l'ago discende all'istante. Ho ripetute perciò e variate quelle prime esperienze; ed ecco come quelle differenze possono intendersi.

Qualunque sia la forma degli elementi muscolari che si adoperano per comporre la pila, sia cioè fatta di rane intere, di mezze coscie, o quale l'abbiamo descritta (fig. 13), se colla soluzione alcalina o acida si bagna la superficie degli elementi muscolari, avviene costantemente, vi siano o no contrazioni, che la deviazione diminuisce e l'ago torna verso lo zero, ove rimane se l'azione dell'alcali è ripetuta o la soluzione troppo concentrata. Questo effetto è identico a quello già descritto, che presentano gl'elementi muscolari stati immersi per qualche istante nelle soluzioni acide o alcaline. Nella maniera di sperimentare (fig. 13) da noi adottata si toccano coll'alcali, onde eccitare le contrazioni nei muscoli, dei punti che sono in qualche modo fuori del circuito e che non costituiscono di certo le parti dell'elemento elettromotore. Nella pila di rane intere in cui si riesce il più spesso ad avere segno di aumento nella corrente per qualche istante, toccando coll'alcali i plessi lombari soli, mai si ottengono questi aumenti se si bagna colla soluzione alcalina tutta la superficie muscolare. Aggiungerò ancora che se si usa la soluzione acida, avendo cura di toccare con un pennellino i

soli plessi lombari e mai i muscoli delle coscie o delle gambe, la deviazione non s'indebolisce, e malgrado le contrazioni che si svegliano, benchè minori di quelle che produce l'alcali applicato sui muscoli, non vi è aumento di deviazione. Convien toccare la superficie del muscolo coll'acido per vedere l'ago discendere. Questo stesso avviene coll'alcali, ed è, ripeto, d'accordo colle esperienze già riferite sugli elementi muscolari che sono stati immersi nelle soluzioni acide o alcaline.

Non è dunque che colla sola pila di rane intere, e toccandone coll'alcali solamente i plessi lombari, che si vede spesso un lieve aumento di deviazione, mentre ciò non avviene operando egualmente cogli'acidi. Stando a tutte le esperienze riferite è impossibile di riguardare questo risultato contrario alla risposta negativa che abbiamo dato in una maniera assoluta alla questione fattaci di scuoprire coll'esperienza, se v'era elettricità sviluppata nella contrazione muscolare.

Vedremo nel seguito di questa Memoria altre prove irrefragabili della risposta negativa da noi data alla suddetta questione.

Per poco che si sia tenuto dietro all'insieme di questi fenomeni, è impossibile di non concepire quanta è la difficoltà che s'incontra volendo spiegare perchè nel caso particolare suddescritto possa l'alcali produrre un aumento di deviazione nella corrente propria della pila di rane intere: inclinerei a credere che essendo dall'alcali più che dagli acidi eccitate forti e permanenti contrazioni nei muscoli, venissero così nel maggior numero dei casi meglio stabiliti i contatti fra un elemento e l'altro e quindi accresciuta la conducibilità interna. Difatti nella pila di rane intere assai male si stabiliscono questi contatti, e si vede sempre una gran differenza nella intensità della corrente cogli stessi elementi, meglio stabilendo questi contatti.

Chechè ne sia della interpretazione da darsi del piccolo aumento che avviene nell'intensità della corrente propria, toccando i plessi lombari delle rane e svegliando così delle

contrazioni muscolari, certo è che questo fatto solo non può condurci a stabilire che vi è sviluppo d' elettricità nella contrazione muscolare e che da tutti gli altri casi surriferiti se ne deve invece indurre il contrario.

Passo ora ad esporre molti nuovi studj fatti sul fenomeno delle contrazioni indotte: ma prima pregherò di nuovo il lettore a scusarmi della prolissità con cui descriverò le esperienze, e della moltiplicazione di queste: il fatto delle contrazioni indotte è di certo così importante e tanto oscuro nello stesso tempo, da non potersene stabilire le leggi se non con lunghe e pazienti ricerche.

Basta di aver visto una volta il fatto della contrazione indotta ottenuto senza svegliare le contrazioni per mezzo della corrente elettrica, per non poter più ammettere che questa corrente sia la diretta cagione delle contrazioni indotte. Posato il nervo della rana galvanoscopica sui muscoli della coscia d' una rana preparata alla maniera ordinaria, se colle forbici, collo spigolo d' una lastra di vetro o in un' altra maniera qualunque, si viene a lacerare prontamente la midolla spinale della rana, è raro che manchino le contrazioni indotte. È però certo che eccitando la contrazione delle coscie col passaggio della corrente nei plessi lombari, il fenomeno delle contrazioni indotte non manca quasi mai.

Avendo perciò adoperato il più spesso nelle mie ricerche l' uso della corrente per eccitare le contrazioni, ho prese tutte le precauzioni perchè non potessi mai temere che la rana galvanoscopica o le coscie della rana intera fossero invase da una porzione della corrente stessa. Il metodo che meglio riesce è quello di empirie quasi interamente di trementina un piatto ordinario da tavola, e di stendere la rana sopra la trementina. È inutile di dire che si deve adoprare trementina tanto densa che la rana non possa immergersi; conviene anche aver cura nel preparare la rana galvanoscopica, di non lasciare attaccato al nervo alcun pezzetto di muscolo.

Qualunque sia la disposizione del nervo della rana galvanoscopica relativamente alle fibre muscolari della coscia, il fenomeno delle contrazioni indotte sussiste sempre. Così in qualche caso ho steso questo nervo parallelamente alle fibre muscolari, oppure l'ho disteso normalmente alle suddette fibre o infine l'ho piegato a *zig zag*, cioè in tutti i sensi, e le contrazioni indotte si son sempre ottenute in tutti i casi e senza differenza sensibile.

Queste stesse contrazioni indotte si ottengono applicando il nervo della rana galvanoscopica sul muscolo gastronomico della gamba.

Ho anche provato a lavare più volte nell'acqua pura la rana *inducente* onde toglierle qualunque traccia di sangue o d'altro umore che poteva esser sparso sulla superficie de' suoi muscoli, e le contrazioni indotte hanno sussistito egualmente.

Ho tagliato con un rasojo o meglio con forbici la superficie dei muscoli, ho quindi posato il nervo della rana galvanoscopica sul solo interno dei muscoli stessi; la contrazione indotta vi è stata.

Eguualmente è accaduto disponendo il nervo della rana galvanoscopica sul muscolo, in maniera che l'estremità di detto nervo si ripieghi sopra il nervo stesso e venga a formare una specie di circuito chiuso.

Ho pur voluto vedere se le contrazioni indotte sussistevano anche quando il nervo della rana galvanoscopica non era stato tagliato. Ho preparato perciò la rana in maniera da conservare integro il nervo, ed ecco come. Spellata una rana, le tolgo i visceri, indi le ossa e i muscoli del bacino, e finalmente i muscoli della coscia, avendo cura di salvare il nervo della coscia. In tal maniera ottengo una rana di cui il sistema nervoso è integro, e che ha scoperto un lungo filamento nervoso, cioè il plesso lombare, e il nervo della coscia. Ottenuta così la rana ne preparo un'altra alla maniera ordinaria, che poso sopra la trementina nel modo già descritto. Allora dispongo il nervo della rana preparata, come si è detto, sulle

coscie dell'altra rana (fig. 14). Eccitando le contrazioni muscolari, si ottengono le contrazioni indotte, come si hanno, usando la sola rana galvanoscopica, e nello stesso tempo si ottengono pure le contrazioni nei muscoli del dorso e nell'altra gamba. Avremo occasione di ritornare più innanzi sopra questo esperimento, dal quale ci limitiamo per ora a dedurre, che le contrazioni indotte si ottengono anche quando il nervo posato sui muscoli in contrazione è integro.

Usando la rana così preparata ho esperimentato le contrazioni indotte, facendo sì che il nervo, che è in contatto del muscolo in contrazione, fosse già in qualche maniera eccitato o da una corrente o da uno stimolo qualunque. Ho usato a questo fine di chiuder la rana galvanoscopica nel circuito d'una coppia voltiana, oppure di applicare sul nervo una goccia di soluzione alcalina. Tutte le volte che i muscoli *inducenti* entrano in contrazione, vi è sempre contrazione indotta, sia che il nervo per cui si trasmette questa contrazione indotta sia già eccitato o no, e per conseguenza quand'anche è già in contrazione il muscolo su cui si genera questa contrazione indotta. E diffatti malgrado la contrazione della rana galvanoscopica, non si prova difficoltà a scorgere la contrazione indotta che sopraggiunge.

Molte esperienze e assai facili possono farsi per provare che in qualunque maniera sia eccitato il nervo del muscolo *inducente*, se la sua contrazione manca, manca pure la contrazione indotta. Mi limiterò a riferirne alcune principali. Tagliati i nervi in due o tre punti nel muscolo inducente, perchè la contrazione non possa aver luogo, manca sempre la contrazione indotta, allorchè si viene a stimolare il nervo in una maniera qualunque nei punti estremi al muscolo inducente.

Senza tagliare il nervo, se si tagliano tutte le estremità tendinose dei muscoli della coscia e si fanno anche altri tagli trasversi negli stessi muscoli, avendo cura di non tagliare i nervi, allorchè si viene a stimolarli, manca la contrazione inducente ed anche l'indotta.

Tagliando con cura tutti i muscoli della gamba di una rana, si può avere scoperto il filetto nervoso che scorre nella gamba stessa. S'irriti questo nervo o colla corrente o con un altro stimolo qualunque dopo avere steso il nervo della rana galvanoscopica sui muscoli della coscia dell'altra. I muscoli della coscia non si contraggono; manca la contrazione indotta.

Operando sopra conigli o sopra cani, ho potuto agire colla corrente elettrica sui filetti nervosi che vanno ai reni, allo stomaco, agl'intestini: intanto il nervo della rana galvanoscopica era disteso sopra queste diverse parti, nelle stesse condizioni in cui si tiene sui muscoli: non ottenni mai alcun segno di contrazione indotta.

Ho cercato anche di scuoprire se vi era contrazione indotta applicando il nervo della rana galvanoscopica sul nervo eccitato. A questo fine basta di preparare due rane galvanoscopiche e di distendere il nervo dell'una sopra il nervo dell'altra nei punti prossimi alla gamba. Per fare l'esperienza con ogni cura si dispongono le due rane sulla trementina. Allora, o colla corrente, o con un altro stimolo qualunque, s'irritano i punti superiori del nervo della rana, che seguirò a chiamare *inducente*: non v'è alcuna contrazione indotta nella rana galvanoscopica, mentre questa contrazione vi è subito se il suo nervo si stende sul gastronemio dell'altra rana. È inutile di dire che adoperando la corrente per eccitare la contrazione inducente, non si deve mai mettere alcuno dei reofori della pila in contatto o in prossimità del nervo della rana galvanoscopica. Si deduce dalla riferita esperienza che un nervo eccitato, e in cui di certo si propaga la cagione qualunque che sveglia nel muscolo la contrazione, e nel cervello la sensazione, non agisce sopra il nervo della rana galvanoscopica quantunque vi sia in contatto.

Aggiungerò ancora l'esperienza seguente. Ad una rana preparata alla maniera ordinaria ho scoperto il cervello colla maggior cura possibile, ed ho disteso sopra di esso il nervo della rana galvanoscopica. In varie esperienze così tentate ho

applicata la corrente or diretta, ora inversa sui plessi lombari: in altre ho toccato colla potassa questi plessi, ed avevo sempre le contrazioni nelle membra inferiori e le convulsioni del dorso; Non ebbi però mai segno di contrazione indotta nella rana galvanoscopica che stava distesa sul cervello.

Dal solo muscolo in contrazione si svegliano dunque le contrazioni indotte.

Ho cercato di scuoprire come s'indebolivano queste contrazioni indotte, facendole svegliare da un muscolo di cui la contrazione era indotta. In una parola ho cercato le contrazioni indotte di secondo, di terz'ordine ecc. A tal uopo preparò varie rane galvanoscopiche, ed una alla maniera ordinaria, e le dispongo nel modo seguente: sui muscoli delle coscie della rana intera stendo il nervo d'una rana galvanoscopica: sul gastronemio di questa, stendo il nervo di un'altra rana galvanoscopica, e così successivamente. Il tutto è posato sulla trementina. Eccitando le contrazioni nella rana intera, facendo passare la corrente per i suoi plessi lombari, ho visto in molti casi contrarsi nello stesso tempo tre rane galvanoscopiche, e quasi tutte sensibilmente colla stessa vivacità. Non mancano mai le contrazioni in due rane galvanoscopiche; ma non ho mai potuto scorgerne quattro in contrazione. Vi è dunque contrazione indotta di primo, di secondo e di terz'ordine.

Prima di venire alle conseguenze da trarsi dai suesposti fatti, mi rimangono ancora a descrivere le esperienze molte che ho fatte onde scuoprire l'influenza dei corpi interposti fra il muscolo in contrazione e il nervo della rana galvanoscopica, sulla contrazione indotta.

Sin dalle mie prime esperienze sulla contrazione indotta, avevo visto che stendendo una foglia d'oro, di quello con cui si dora, sui muscoli, e posando poi sui muscoli dorati il nervo della rana galvanoscopica, la contrazione indotta non s'ottenneva più. Perchè questo accadesse, conveniva però che il muscolo fosse completamente dorato, lo che non avviene e specialmente dopo una o due contrazioni, per le quali la foglia d'oro

si lacerata. Allora pure avevo visto che una carta verniciata, *papier glacée*, interposta fra il muscolo ed il nervo, impediva la contrazione indotta. In fine una carta da feltro imbevuta d'acqua o del liquido sieroso che bagna la superficie dei muscoli, interposta fra il muscolo ed il nervo della rana galvanoscopica, non impedisce le contrazioni indotte. A questi soli tre casi relativi all'influenza dei corpi interposti sulla contrazione indotta, si riducevano le nostre cognizioni. Ho cercato perciò di assai estendere e variare le esperienze. La maniera costante di operare che ho tenuta, consiste nel preparare una rana alla maniera del Galvani, e nel posarla sulla trementina: intanto un ajuto viene preparando nuove rane galvanoscopiche di cui stendo il nervo sui muscoli delle coscie della prima rana. Onde svegliare le contrazioni inducenti adopero sempre una piccola pila alla Faraday di quindici elementi immersi nell'acqua pura, e di cui i reofori sono coperti di seta e verniciati.

Non v'è corpo liquido fra i molti che ho tentati, che impedisca la contrazione indotta: l'acqua, l'acqua leggermente acidulata, o salata, il siero, il sangue, l'olio d'oliva, l'alcool allungato, la vernice di alcool e resine, l'olio volatile di trementina sono i liquidi adoperati in queste esperienze, e attraverso dei quali la contrazione indotta ha luogo. Uso sempre di lasciar cadere alcune gocce del liquido sperimentato sul muscolo, e di bagnare il nervo della rana galvanoscopica collo stesso liquido. La contrazione indotta sussiste ancora se una carta sottilissima da feltro, imbevuta dei suddetti liquidi, è interposta fra il muscolo e il nervo.

La poca conducibilità di alcuni dei liquidi adoperati (olio, olio volatile di trementina, vernice ecc.) mi ha fatto dubitare che la contrazione indotta sussistesse anche malgrado l'interposizione di un corpo assolutamente isolante.

M'assicurai difatti che attraverso ad uno strato anche sottilissimo dei suddetti liquidi, tanto la corrente muscolare, quanto la propria, non si propagavano. Prendendo la rana

galvanoscopica colla mano, e facendola col suo nervo venire in contatto di una carta bagnata, che sia in una maniera qualunque in comunicazione col suolo, si hanno come ben si sa le contrazioni. Lo stesso avviene toccando col nervo della rana galvanoscopica i muscoli qualunque d'una rana o d'un altro animale in comunicazione col suolo. In tutti questi casi è sempre la corrente propria che circola attraverso l'osservatore, il suolo, il corpo toccato e la rana galvanoscopica. Ora, se si bagna il nervo della rana galvanoscopica o nell'olio, o o nell'olio volatile di trementina, o nella vernice, basta il piccolo strato che rimane aderente al nervo, perchè sia impedita la circolazione della corrente propria.

È indubitato dunque, che se la contrazione indotta si propaga attraverso ad uno strato di uno dei cattivi conduttori citati, non può di certo questa contrazione indotta esser dovuta ad una corrente, che generata nel muscolo in contrazione passerebbe nel nervo della rana galvanoscopica.

Tuttavia queste esperienze erano tanto importanti per la teoria del fenomeno della contrazione indotta, che ho voluto tentare ad interporre fra il muscolo in contrazione e il nervo della rana galvanoscopica un corpo che fosse anche più cattivo conduttore di quelli citati. Il corpo che mi ha servito in queste esperienze è stato la trementina di Venezia quasi solida e resa più o meno liquida coll'aggiunta di un poco d'olio volatile di trementina. Spalmate le coscie di una rana con questo miscuglio e bagnatone il nervo della rana galvanoscopica, preparo al solito l'esperienza e veggio la contrazione indotta sussistere. Per provare la cattiva conducibilità del miscuglio adoperato, mi affretto subito a dire che se applico un polo della pila con cui eccito le contrazioni, sullo stato del miscuglio coibente, bene inteso senza penetrare sino al muscolo, e tocco coll'altro polo la gamba della rana galvanoscopica non si svegliano in essa contrazioni. È dunque provato dalle citate esperienze che la contrazione indotta si propaga attraverso ad uno strato di sostanza coibente tale, che impedisce

la propagazione non solo della corrente muscolare e della propria, ma anche di quella corrente che eccita la contrazione inducente.

Se lo strato coibente interposto oltrepassa certi limiti di grossezza e se esso non ha una conveniente liquidità, la contrazione indotta manca. È impossibile però di determinare dentro quali limiti di grossezza di strato e di liquidità del miscuglio questo avviene: mi basta d'aver stabilito coll'esperienza che in qualche caso s'ottiene la contrazione indotta, mentre fra il muscolo e il nervo si trova interposto uno strato coibente che di certo arresta la corrente muscolare e la propria, non che una corrente voltiana ordinaria.

Dirò finalmente, di non esser mai riuscito ad ottenere la contrazione indotta adoperando un corpo solido interposto, per quanto sottile lo abbia scelto, e qualunque fosse la sua natura. A questo fine ho adoperato lamine di mica estremamente sottili, lamine di solfato di calce, la foglia d'oro, la carta con colla, le foglie di vegetabili ecc. Sempre mancò la contrazione indotta. È però un fatto assai curioso e credo anche importante nelle sue conseguenze, quello di ottenere la contrazione indotta attraverso alla pelle dei muscoli inducenti della rana.

L'esperienza non manca mai di riescire, sia che la contrazione inducente si ecciti colla corrente elettrica, o con uno stimolo qualunque, applicato sui plessi lombari della rana inducente.

Dopo aver così esposto una lunga serie di fatti relativi alle circostanze che intervengono a produrre, a modificare, o a distruggere il fenomeno della contrazione indotta, potrebbe credersi che colla scorta di questi si potesse salire alla teoria fisica del fenomeno. Disgraziatamente ne dubito assai, e in questa incertezza prego di nuovo il lettore a seguirmi nella discussione minuta, che sarò costretto di fare delle diverse ipotesi che si possono immaginare onde interpretare il fenomeno della contrazione indotta.

1°. Basta di aver vista una volta la contrazione indotta, determinata svegliando le contrazioni inducenti con uno stimolo meccanico qualunque, per non poter più in alcun modo sospettare che la corrente elettrica adoperata per eccitare la contrazione si propaga sino al nervo della rana galvanoscopica (1). Come intendere la contrazione indotta di secondo, di terz' ordine? Come spiegarsi che la contrazione indotta manca, benchè la corrente sia applicata, come al solito, sui plessi lombari della rana inducente, e solo perchè per il taglio dei nervi nella coscia si è tolta o grandemente diminuita la contrazione inducente? Perchè manca la contrazione indotta quando s'applica la stessa corrente nel nervo al disotto della coscia, per cui non vi sono le contrazioni inducenti? Perchè allorchando s'agisce colla corrente sui plessi lombari di una rana già indebolita a modo da non aver più le contrazioni se non che al cominciare della corrente diretta e al cessare dell'inversa, perchè in questi soli casi vi è la contrazione indotta? È inutile di continuare ad annoverare le obiezioni che si possono fare all'interpretazione della contrazione indotta, ricorrendo ad una diffusione della corrente eccitante le contrazioni inducenti; diffusione che non può in verun modo fisicamente concepirsi.

2°. Potrebbe sospettarsi che la contrazione indotta fosse la conseguenza di uno stimolo meccanico, cioè dell'urto dei muscoli inducenti che si contraggono e scuotono così il nervo della rana galvanoscopica.

Ho provato tante e tante volte adoperando rane galvanoscopiche estremamente delicate, a promuovere dei movimenti in tutte le maniere possibili nelle masse muscolari delle coscie, e mai potei vedere contrarsi la rana galvanoscopica. Se la cagione del fenomeno fosse quest'urto, come spiegarsi il

(1) Per eccesso di cautele, ho tante volte provato ad ottenere la contrazione indotta, eccitando la contrazione inducente colla lacerazione della midolla spinale per mezzo di una lastra di vetro. La contrazione indotta è stata, come se la contrazione inducente fosse stata eccitata colla corrente o con un altro stimolo qualunque.

cessare della contrazione indotta per l'interposizione di una tenuissima foglia d'oro o di mica fra il nervo e il muscolo? Ho provato tante e tante volte ad applicare il nervo della rana galvanoscopica sopra lastre di metallo, di vetro, sopra membrane tese, sopra corde di budella, mentre erano in vibrazione, e mai vi fu segno di contrazione nella rana galvanoscopica. Non è dunque l'urto del muscolo in contrazione contro il nervo della rana galvanoscopica, la cagione della contrazione indotta.

3°. Accade qualche rarissima volta di aver la contrazione nella rana galvanoscopica allorchè si distende il suo nervo sulla coscia dell'altra rana, e ciò anche nel caso in cui ambedue sono perfettamente isolate. È però certo che tutte le volte che questo avviene non si manca di scuoprirne la cagione. Questa consiste ora nell'essere l'interno del muscolo scoperto in qualche punto, ora perchè al nervo della rana galvanoscopica rimane unito qualche pezzetto di muscolo che viene a toccarsi col nervo, allorchè questo si distende sulla coscia. M'è parso anche che qualche volta queste contrazioni accadessero, allorchè si veniva a toccare con due punti del nervo della rana galvanoscopica le estremità tendinose o la superficie dei muscoli della coscia. Intanto diciamo che la contrazione indotta si ottiene costantemente in tutti i casi, in cui per le cure prese non si verificano le circostanze suddette che possono far svegliare la contrazione della rana galvanoscopica. Sappiamo pure che tagliata con forbici la superficie muscolare delle coscie e resa così tutta uniforme, la contrazione indotta sussiste applicato il nervo della rana galvanoscopica sulla nuova superficie interna del muscolo. Questa contrazione indotta sussiste ancora attraverso alla pelle della rana, non che interponendo degli strati liquidi coibenti fra il nervo ed il muscolo. Ed abbiamo visto che la coibenza di quelli strati era tale da non permettere la circolazione della corrente propria e della muscolare. Come può, dopo ciò, supporre che la contrazione indotta abbia origine dalle circostanze

suaccennate, anche ammettendo che siano rese più attive, o che si sveglino per la contrazione muscolare? Queste circostanze si riducono ad un fenomeno di corrente muscolare o di corrente propria, che dovrebbe poter percorrere il nervo della rana galvanoscopica, anche quando il nervo della rana galvanoscopica sia involto da uno strato di sostanza coibente, ciò che abbiám visto non poter essere.

4°. La prima idea venuta onde interpretare la contrazione indotta, fu quella di uno sviluppo di elettricità che accompagna la contrazione muscolare, V' è sviluppo di calore nell'atto della contrazione: secondo l'osservazione importante di Quatrefage, che importerebbe assai che fosse di nuovo ripetuta onde bene stabilirne le circostanze, vi sarebbe sviluppo di luce in certi casi di contrazione muscolare. Da ciò, un certo grado d'analogia per concludere non improbabile la produzione di elettricità nella contrazione muscolare; d'altra parte le poche esperienze che feci allorchè scuoprii la contrazione indotta potevano interpretarsi assai bene in questa ipotesi. Un corpo coibente, come una lamina di mica o una carta verniciata, impedivano colla loro interposizione la contrazione indotta; e non poteva essere diversamente. Accadeva lo stesso anche quando una lamina d'oro, scaricando perfettamente l'elettricità che si supponeva prodotta nella contrazione, faceva così che il nervo non ne fosse percorso.

Malgrado questi primi passi che lusingavano a dare una spiegazione assai semplice della contrazione indotta e conducevano nello stesso tempo a provare un fenomeno importante nella contrazione muscolare, noi siamo oggi costretti ad abbandonare affatto questa idea perchè contraddetta dall'esperienza.

Al principio di questa Memoria ho riferito con tutta l'estensione possibile le molte esperienze tentate onde cercare se v'era aumento nell'intensità della corrente muscolare o della propria nell'atto della contrazione. Tutti i miei sforzi sono stati inutili, ed ho dovuto concludere che l'esperienza non provava divenire maggiori i segni della corrente muscolare o della propria nell'atto della contrazione muscolare.

Potrebbe credersi ad uno sviluppo di elettricità indipendente dalla corrente muscolare e dalla propria. Ma come supporlo, allorchè si vede che la contrazione indotta si propaga attraverso a certi strati coibenti, come sarebbe la trementina, l'olio ecc., mentre ciò non ha luogo se si usa una lamina di mica estremamente sottile. Si sarebbe potuto dubitare che l'elettricità sviluppata nella contrazione muscolare avesse agito per influenza. In questa ipotesi s'intenderebbe perchè la trementina non arresta la contrazione indotta; ma intanto poi rimane doppiamente oscuro perchè colla lamina di mica estremamente sottile questo abbia luogo. Ho provato infatti a cuoprire una rana galvanoscopica posata sopra una lastra di vetro con una lamina di mica: la scarica elettrica di una bottiglia scocca fra i bottoni dell'eccitatore universale sopra la lamina di mica, e le contrazioni si svegliano nella rana galvanoscopica. Non m'occuperò in questo momento ad analizzare questo fatto: basta per ora a provarci che dovrebbe esservi contrazione indotta attraverso alla lamina di mica, se la cagione del fenomeno fosse una scarica elettrica o l'influenza di questa. Aggiungerò finalmente di aver tante e tante volte provato, e sempre inutilmente a svegliare le contrazioni nella rana, tenendo il nervo della rana galvanoscopica in prossimità e quasi al contatto di un conduttore metallico percorso dalla corrente elettrica. Per mettermi nelle circostanze favorevoli, onde il circuito indotto possa esser completo nella rana, preparo la rana in maniera che un lungo filamento nervoso, cioè uno dei plessi lombari e il suo seguito nella coscia, siano allo scoperto. La rana è intatta nel resto e le due gambe si toccano insieme. Sostengo la rana con cordoni di seta in maniera che essa sia orizzontale e che il suo filamento nervoso sia in contatto e parallelo al conduttore voltiano, che è verniciato. Quando tutte le cure sono prese per bene isolare la rana, non si vedono mai contrazioni in essa nè al chiudere nè all'aprire del circuito della pila. Vedesi che in questa disposizione il circuito indotto può aver luogo nella rana. Ho adoperato una pila di Bunsen di 10 elementi senza alcun risultato.

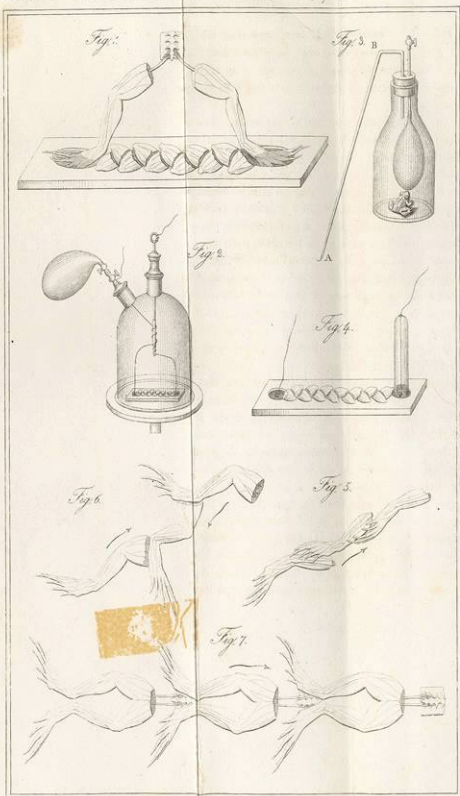
Non v'è dopo ciò alcuna prova sperimentale della spiegazione del fenomeno della contrazione indotta, data, ammettendo uno sviluppo di elettricità nell'atto della contrazione muscolare.

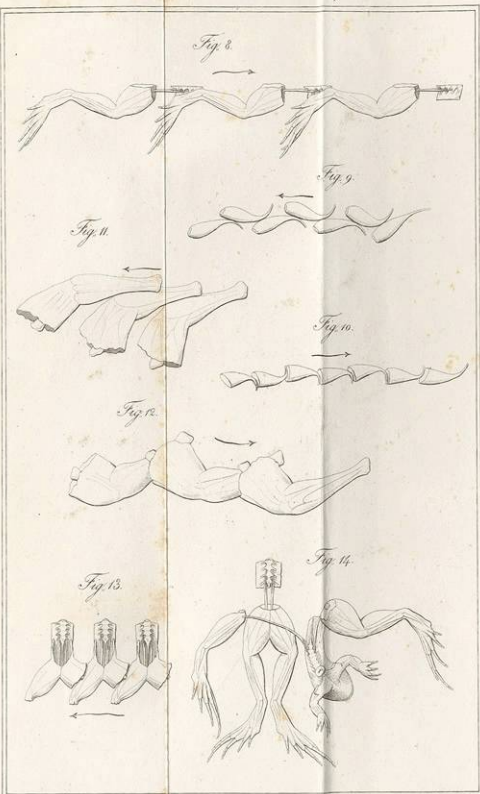
Ignoriamo ancora la cagione della contrazione muscolare e non sappiamo di questo fenomeno se non se, che si sveglia agendo anche a grandi distanze dal muscolo sul nervo che vi si ramifica, che questa azione per propagarsi esige l'integrità del filamento nervoso dal punto su cui si è agito sino al muscolo, che questa propagazione si fa con una velocità, che non possiamo giudicar minore di quella con cui la luce, il calore, l'elettricità si propagano nei diversi mezzi, che ciò che modifica, aumenta o distrugge il complesso dei fenomeni fisico-chimici compresi nella nutrizione del muscolo, opera egualmente sulla sua contrattilità promossa da un'azione qualunque su i nervi, finalmente che il fenomeno della contrazione di un muscolo deve intendersi, ammettendo che la cagione qualunque di questo fenomeno agisca colla legge fisica dei corpi elastici.

Il fenomeno della contrazione indotta sarebbe un primo fatto d'induzione di questa forza qualunque, che circola nei nervi e che sveglia la contrazione muscolare.

Ammettendo per ben dimostrato, che non può darsi del fenomeno della contrazione indotta una spiegazione soddisfacente ricorrendo all'elettricità o ad altre cagioni conosciute, come mi sembra d'averlo provato con tutta l'evidenza, mi pare che non si possa, trattandosi di un fatto primo, come lo è quello della contrazione indotta, interpretarlo diversamente di quello che abbiamo fatto. La contrazione indotta non è che un nuovo fenomeno della forza nervosa, fenomeno di cui abbiamo date in questa Memoria le leggi principali. Mi sembrerebbe perciò più giusto di chiamare d'ora innanzi *induzione muscolare*, quella che ho detta sin qui contrazione indotta.

Darò termine a questa Memoria con alcune applicazioni del fenomeno dell'induzione muscolare alla Fisiologia.





Dall'esperienza descritta più sopra (fig. 14) è provato che l'induzione muscolare si propaga in un nervo nello stesso tempo tanto verso le sue estremità nei muscoli quanto verso il suo centro.

Se l'induzione muscolare si esercita non solo sul nervo in contatto del muscolo ma anche attraverso ad alcuni corpi interposti, è naturale di ammettere che allorchè una massa muscolare qualunque entra in contrazione per l'irritazione portata sopra uno dei suoi nervi, anche in tutti gli altri filamenti nervosi sparsi in quella massa il fenomeno dell'induzione avvenga. E volendo anche cedere per un momento alle analogie che passano fra la corrente elettrica e la forza nervosa, potremmo credere che questa induzione abbia luogo sul nervo eccitato, che è cagione della contrazione. Non potrebbe forse da ciò aversi una spiegazione fisica di un fatto fisiologico ben stabilito che, dentro certi limiti, s'accrese l'attività dei muscoli a misura che in loro la contrazione è svegliata? Parmi anche che un gran numero di quei movimenti che avvengono in noi e negli animali indipendentemente dalla volontà, ma però in seguito di altri cagionati dalla volontà, possano essere considerati come fenomeni d'induzione muscolare. Lascio ai fisiologi la continuazione di questi studj che mi sembrano degni di tutto il loro interesse. E terminerò col citare un'esperienza, che parmi provare un'azione di questo genere. Preparata una rana alla maniera ordinaria, taglio uno dei nervi che costituiscono uno dei suoi plessi lombari, e lo taglio precisamente al suo punto d'uscita dalla colonna vertebrale. Stesa la rana sulla trementina ritiro da un lato il nervo tagliato, e lo irrito o colla corrente o coll' alcali. Si svegliano così fortissime contrazioni nella coscia e nello stesso tempo, se la rana è molto vivace, si hanno contorsioni distinte, benchè di poca durata, al dorso ed anche movimenti nelle sue membra superiori.

Pisa 8 Maggio 1845.