ATTI

DELLA

REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIV.

1907

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XVI.

1° SEMESTRE.

ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1907

Fisiologia. — *Su le correnti di demarcazione dei nervi.* Nota del dott. Mario Chiò, presentata dal Socio A. Mosso.

Due teorie si sono per lungo tempo conteso il campo della interpretazione dei fenomeni elettrici dei muscoli e dei nervi: la teoria di Du Bois Reymond o della preesistenza, che ravvicinava la costituzione di un muscolo e di un nervo alla costituzione della calamita, e la teoria di Hermann, della non preesistenza, sviluppata poi meglio da Engelmann, Hering, e Biedermann, la quale considerava le forze elettromotrici dei nervi e dei muscoli come una conseguenza dei fenomeni disintegrativi ed integrativi dei tessuti, come una conseguenza della mortificazione degli elementi, per cui ogni punto leso od eccitato acquista potenziale negativo rispetto ad un punto intatto o non eccitato od eccitato con minore intensità.

Lo svolgersi della chimica-fisica e lo studio dei fenomeni elettrochimici ci hanno fornito nuovi metodi per lo studio delle forze elettromotrici degli elementi nervosi e muscolari e sulla base delle nuove conoscenze molte teorie hanno potuto formarsi e svilupparsi.

Le ricerche di Tschagowetz, Oker-Blom, Macdonald, Bernstein, Brünigs giunsero a stabilire che con tutta probabilità le correnti di azione e di demarcazione dei muscoli e dei nervi non sono altro che correnti di concentrazione.

Bernstein spiega in due modi le differenze di concentrazione che si stabiliscono tra il punto leso od eccitato di un muscolo e la parte rimasta intatta:

1° Secondo una teoria detta *dell'alterazione*, quando si ammetta nel punto leso la formazione di un elettrolita organico, di cui gli ioni abbiano nelle fibre e nella membrana di rivestimento differenti velocità e numeri di trasporto.

2° Secondo una teoria detta *dell'impermeabilità*, quando si ammetta che le fibrille normali siano rivestite di una membrana plasmatica poco permeabile od impermeabile per una delle due specie di ioni.

Ostwald ammise che all'influenza di membrane semipermeabili fossero dovute non solo le correnti dei muscoli e dei nervi, ma anche le correnti dei pesci elettrici; in seguito Nernst, Zeynek e Barrat cercarono di applicare la teoria delle membrane semipermeabili alla spiegazione della sensibilità dei nervi.

Galeotti trovò che la pelle vivente è permeabile per determinate specie di ioni e non per altre.

Studiando le correnti di azione e di demarcazione del cuore, il Galeotti trovò che, mentre il tessuto intatto ed in riposo è lievemente alcalino, il

tessuto alterato o contratto tende a divenire acido e che l'aumento della concentrazione degli H· — ioni è maggiore nel caso della alterazione che nel caso della concentrazione.

A queste variazioni nella concentrazione degli H· — ioni e degli OH' — ioni sarebbero quindi dovute le correnti di azione e di demarcazione, le quali si potrebbero ricondurre al tipo di quelle che si producono nel contatto di una soluzione alcalina con una soluzione acida: e, come in questo caso il polo negativo è dalla parte dell'acido, così nel tessuto muscolare il polo negativo è nella porzione alterata o contratta.

Il Galeotti, per spiegare le correnti di azione e di demarcazione, emette l'ipotesi che le fibre muscolari siano avvolte da membrane, le quali allo stato di riposo del muscolo sarebbero impermeabili dall'esterno all'interno agli OH' — ioni, e dall'interno all'esterno agli H· — ioni. Per questo fatto si avrebbe normalmente una maggiore concentrazione di OH' — ioni nel sarcoplasma ambiente ed una corrispondente maggiore concentrazione di H· — ioni nell'interno della fibra muscolare.

Per azione dello stimolo cesserebbe, nel punto eccitato, l'impermeabilità della membrana, e gli H· — ioni, emigrando nel sarcoplasma, determinerebbero una maggiore concentrazione di H· — ioni rispetto ad altri punti in riposo del muscolo, e si produrrebbero quindi le correnti di azione come correnti di coppie del tipo acido-base.

In seguito all'emigrazione degli H· — ioni restando nella fibra muscolare gli OH' — ioni, cambierebbe la carica elettrica degli elementi muscolari e varierebbe per conseguenza la loro tensione superficiale. Ora, come i dati sperimentali fanno credere che la contrazione del muscolo dipenda da variazioni della tensione superficiale dei singoli elementi, così le variazioni del valore della carica elettrica determinerebbero sia la contrazione sia la corrente d'azione.

Tagliando una fibra muscolare e rompendo le pareti degli elementi contrattili, si avrebbe la combinazione degli H· — ioni in essi contenuti con gli OH' — ioni del sarcoplasma e quindi la neutralizzazione del mioplasma morto. In confronto di un punto qualsiasi del muscolo non leso, vale a dire di un punto contenente in predominanza OH' — ioni, la sezione di taglio acquisterebbe così un potenziale negativo e si avrebbe per conseguenza la corrente di demarcazione di una pila del tipo detto acido-base.

Poichè nei nervi la corrente di demarcazione si presenta con gli stessi caratteri che nei muscoli, volli ricercare se anche qui essa fosse dovuta a diverse concentrazioni di H· — ioni nel tessuto alterato e sulla superficie intatta.

Mi limitai allo studio della catena del tipo:

H	superf. longit. del nervo (equatore)	sezione del nervo	H

perchè gli elettrodi ad H hanno un potenziale fisso e costante, e trascurai la determinazione degli OH' — ioni perchè è noto come sia difficile ottenere degli elettrodi ad ossigeno di potenziale costante.

Un elettrode ad idrogeno immerso in una soluzione contenente H· — ioni in una data concentrazione (C_H) acquista un potenziale (π_H) il cui valore

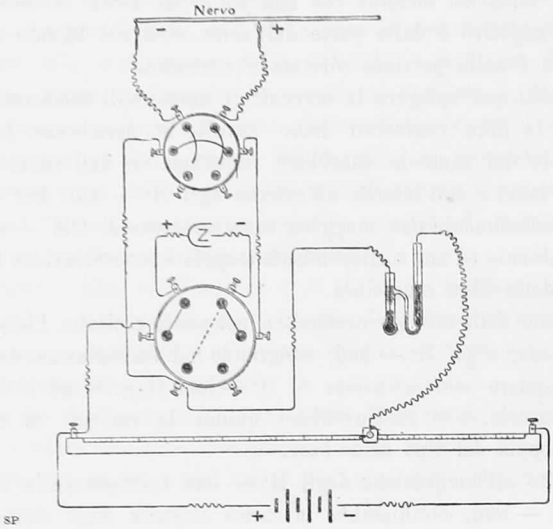

Fig. 1.

si ricava dalla formula:

$$\pi_H = 0{,}0575 \log \frac{P}{C_H}$$

dove log P è una costante che rappresenta la tensione di soluzione del gas ed è uguale a — 4,7385 (C. Foà).

Conosciuto il valore di log P e determinato sperimentalmente π_H, facilmente si calcola log C_H e quindi C_H, ossia la concentrazione degli H· — ioni liberi nel tessuto in esame.

Tecnica. — Per la misura delle forze elettromotrici del nervo mi sono servito del metodo di compensazione Poggendof-Ostwald, per mezzo del ponte di Weatstone, della pila normale Weston, e dell'elettrometro capillare.

Dapprima determino la forza elettromotrice della corrente di demarcazione con due elettrodi normali, unendoli in derivazione con la pila già compensata con l'accumulatore sul ponte. La linea tratteggiata nel commutatore sta ad indicare un piccolo ponte di rame che serve per mettere la pila normale direttamente in opposizione con l'accumulatore). (V. fig. 1, 3, 4).

Adopero nervi sciatici di cane e di grossi conigli e pongo un elettrode sulla superficie longitudinale (equatore), e l'altro sulla superficie di sezione e sempre sulla sezione prossimale, perchè più povera di connettivo.

Occorrendo elettrodi impolarizzabili ho scelto gli elettrodi normali di Oker-Blom; i pennelli sono tenuti sempre accuratamente puliti, immersi nella soluzione dell'elettrode normale $\left(\mathrm{NaCl}\ \frac{N}{10}\right)$, e lavati ogni volta abbondantemente con la soluzione stessa prima di essere usati.

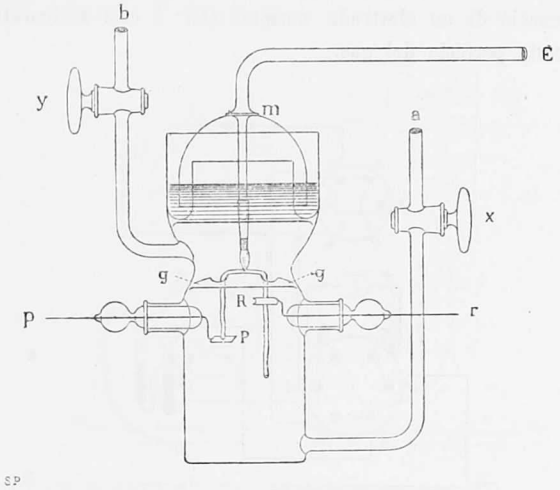

Fig. 2.

Determinata la forza elettromotrice della catena:

$$\text{(I)} \qquad +\mathrm{NaCl}\ \frac{N}{10} \left| \begin{array}{c}\text{superf. longit.}\\ \text{del nervo}\\ \text{(equatore)}\end{array} \right| \begin{array}{c}\text{sezione}\\ \text{del nervo}\end{array} \left| \mathrm{NaCl}\ \frac{N}{10} - \right. \qquad \text{(fig. 1)}$$

passo alla determinazione della F. E. sviluppata dalla catena:

$$\text{(II)} \qquad \mathrm{H} \left| \begin{array}{c}\text{superf. longit.}\\ \text{del nervo}\\ \text{(equatore)}\end{array} \right| \begin{array}{c}\text{sezione}\\ \text{del nervo}\end{array} \left| \mathrm{H} \right.$$

in cui un elettrode ad idrogeno è a contatto con la superficie longitudinale del nervo presso l'equatore e l'altro elettrode con la superficie di sezione del nervo.

Nell'intento di matenere costante la pressione dell'idrogeno a contatto del nervo durante tutta l'esperienza, ho fatto costrurre un apparecchio che verrò qui brevemente descrivendo (fig. 2).

Esso consiste essenzialmente di un vaso di vetro che termina in alto con una doccia circolare ripiena di mercurio, e che è munito di quattro aperture che possono essere ermeticamente tappate con chiusure a smeriglio.

Di queste quattro aperture, due (*a* e *b*) servono per il passaggio del gas e le due altre per sostenere due tappi portanti gli elettrodi ad idrogeno (*p* ed *r*).

Tali elettrodi constano di una sottile lamina d'oro ricoperta di nero di platino: l'uno (P) è piatto per meglio appoggiarvi sopra la superficie di sezione del nervo, e l'altro (R) arrotondato per ottenere un buon contatto con la superficie longitudinale del tratto nervoso.

Nella doccia circolare piena di mercurio è immersa una campanella saldata al beccuccio di un elettrode normale (E): è così assicurata in questo punto la tenuta perfetta del gas.

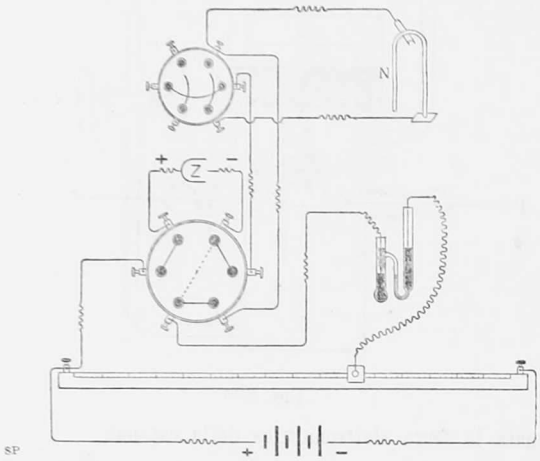

Fig. 3.

A metà altezza circa dell'apparecchio si trova un setto di vetro *g* che ha l'ufficio di sostenere il nervo, e che è munito di due fori per dar passaggio alle due estremità di questo.

Si pone il tratto di nervo nell'apparecchio in modo che l'elettrode normale ed uno dei due elettrodi a gas siano prossimi all'equatore del nervo e da esso equidistanti; l'altro elettrode a gas (P) è a contatto con la superficie di sezione; nei punti di unione degli elettrodi a gas col nervo una goccia di siero di sangue dell'animale ucciso assicura i contatti ed impedisce l'essiccamento del tessuto.

Ciò fatto, si lascia entrare lentamente il gas.

L'idrogeno, purissimo, passato attraverso parecchie boccie di pirogallolo, attraverso idrato di sodio, bicloruro di mercurio, permanganato potassico, entra per *a* nell'apparecchio, ed uscendone per *b* è condotto ad una campanella rovesciata ed immersa per un certo tratto in un bicchiere pieno d'acqua.

Il gas esce in seguito dalla campanella per mezzo di un tubo che a sua volta termina affiorando in un altro bicchiere pieno d'acqua allo scopo di impedire l'entrata d'aria nel sistema.

La descrizione di questo dispositivo trovasi nel lavoro di C. Foà: v. fig. a pag. 385.

Dopo aver lasciato passare il gas per venti minuti circa si chiude dapprima il rubinetto x; poi si porta il gas contenuto nell'apparecchio alla pressione atmosferica innalzando la campanella regolatrice secondo l'indicazione di un piccolo manometro a U; ed infine si chiude il rubinetto y.

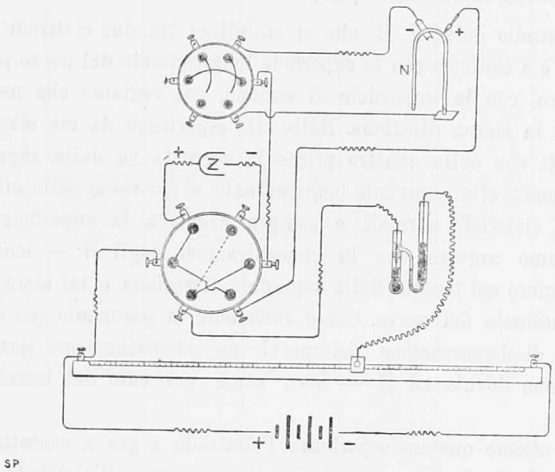

Fig. 4.

Si inseriscono allora in derivazione con la Weston i due elettrodi a gas secondo la catena:

$$\text{(III)} \qquad \text{H} \left| \begin{array}{c}\text{superf. longit.}\\ \text{del nervo}\\ \text{(equatore)}\end{array} \right| \begin{array}{c}\text{sezione}\\ \text{del nervo}\end{array} \left| \text{H} \right. \quad \text{(fig. 3)}$$

e si fanno alcune determinazioni finchè il sistema si sia portato in perfetto equilibrio. Assicuratomi della costanza della F. E., rapidamente inserisco, per mezzo di un commutatore, l'elettrode normale, tolgo dal circuito la Weston ponendo direttamente il nervo in opposizione con l'accumulatore e determino la F. E. della catena:

$$\text{(IV)} \qquad -\text{H} \left| \begin{array}{c}\text{superf. longit.}\\ \text{del nervo}\\ \text{(equatore)}\end{array} \right| \text{NaCl}\ \frac{\text{N}}{10} + \quad \text{(fig. 4)}$$

in cui l'elettrodo a gas e l'elettrodo normale sono posti a contatto del nervo in prossimità dell'equatore e da esso equidistanti (fig. 4).

***

La determinazione della F. E. della catena (IV) è fatta allo scopo di conoscere la concentrazione in H· — ioni del tessuto nervoso sulla superficie longitudinale, presso l'equatore del tratto di nervo in esame. Secondo quanto risulta da una serie di esperienze riprodotte nella tavola che segue, la concentrazione degli idrogenioni del tessuto nervoso nel punto suddetto varia tra $1{,}5875^{10-8}$ e $2{,}1048^{10-9}$; esiste cioè sulla superficie longitudinale del nervo, presso l'equatore, una concentrazione di H· — ioni che oscilla tra i valori che corrispondono all'acqua pura e ad una soluzione di soda $\frac{N}{100{,}000}$.

Nello studio della F. E. che si stabilisce tra due elettrodi ad idrogeno, di cui uno è a contatto con la superficie longitudinale del nervo presso l'equatore e l'altro con la superficie di sezione, noi vediamo che non sempre la corrente ha la stessa direzione. Nelle otto esperienze da me eseguite constatiamo infatti che nelle quattro prime la corrente va dalla superficie di sezione del nervo alla superficie longitudinale e viceversa nelle ultime quattro, mentre con elettrodi normali è sempre negativa la superficie di sezione. Onde possiamo arguire che la concentrazione degli H· — ioni può talora essere maggiore nel tessuto della superficie di sezione e tal altra sulla superficie longitudinale del nervo. Ciò è sufficiente, a parer mio, per escludere che la corrente di demarcazione dei nervi sia *esclusivamente* una corrente di concentrazione dovuta ad H· — ioni, come nel caso del tessuto muscolare (Galeotti).

Nelle ultime quattro esperienze l'elettrode a gas a contatto con la superficie longitudinale del nervo è negativo rispetto all'elettrode a gas posto a contatto con la superficie di sezione, il che significa che la superficie di sezione del nervo è più alcalina che non la superficie longitudinale, la quale nelle esperienze 6 e 7 dimostra di avere una alcalinità che varia tra valori che corrispondono ad una soluzione $\frac{N}{1{,}000{,}000}$ ed a una soluzione $\frac{N}{100{,}000}$ di soda. La superficie di sezione del nervo, cioè la parte morta di esso, non diviene quindi sempre acida, come fin oggi è stato generalmente ammesso.

Riassumendo:

1° La superficie naturale dei nervi periferici staccati dall'organismo è lievemente alcalina, raggiungendo al massimo l'alcalinità di una soluzione $\frac{N}{100{,}000}$ di soda.

2° La superficie di sezione dei nervi periferici può talvolta, contrariamente a quanto è stato ritenuto finora, essere più alcalina della superficie longitudinale del nervo.

3° Le correnti di demarcazione nei nervi non si possono considerare esclusivamente come correnti di concentrazione di idrogenioni.

	$+ NaCl \frac{N}{10}$	superf. longit. del nervo (equatore)	superf. sezione del nervo	$NaCl \frac{N}{10} -$	$- H$	superf. longit. del nervo (equatore)	$NaCl \frac{N}{10} +$	H	superf. longit. del nervo (equatore)	superf. di sezione del nervo	H
	corrente di demarcazione										
1	$\varepsilon = 0{,}0072$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}7897$ $\pi_H = 0{,}1767$ $\log C_H = 0{,}2007 - 8$				$\varepsilon = 0{,}0439$ $\longleftarrow$		
2	$\varepsilon = 0{,}0081$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}8080$ $\pi_H = 0{,}1990$ $\log C_H = 0{,}8691 - 9$				$\varepsilon = 0{,}0121$ $\longleftarrow$		
3	$\varepsilon = 0{,}0122$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}8009$ $\pi_H = 0{,}1879$ $\log C_H = 0{,}9933 - 9$				$\varepsilon = 0{,}0092$ $\longleftarrow$		
4	$\varepsilon = 0{,}0109$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}7999$ $\pi_H = 0{,}1869$ $\log C_H = 0{,}0108 - 8$				$\varepsilon = 0{,}0021$ $\longleftarrow$		
5	$\varepsilon = 0{,}0035$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}7999$ $\pi_H = 0{,}1869$ $\log C_H = 0{,}0108 - 8$				$\varepsilon = 0{,}0054$ $\longrightarrow$		
6	$\varepsilon = 0{,}0112$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}8394$ $\pi_H = 0{,}2264$ $\log C_H = 0{,}3232 - 9$				$\varepsilon = 0{,}0155$ $\longrightarrow$		
7	$\varepsilon = 0{,}0173$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}8274$ $\pi_H = 0{,}2144$ $\log C_H = 0{,}5324 - 9$				$\varepsilon = 0{,}0234$ $\longrightarrow$		
8	$\varepsilon = 0{,}0054$ $\longrightarrow$				$\varepsilon = 0{,}7917$ $\pi_K = 0{,}1787$ $\log C_H = 0{,}1550 - 8$				$\varepsilon = 0{,}0520$ $\longrightarrow$		

BIBLIOGRAFIA.

Max Cremer, Zeitschrift für Biologie, Bd. XLVII, Heft 4, S. 562.
Tschagowetz, Journal des russ. physikal-chemie Ges., 1896, Bd. 28, S. 657.
Oker-Blom, Pflüger's Arch., LXXXIV, S. 191, 1901.
Macdonald, The Thompson Yates Laboratories Report. IV, pag. 2, 1902.
Bernstein, Pflüger's Archiv, Bd. 85, S. 271, 1901.
Id. Id. Bd. 92, S. 521, 1902.
Brünigs Id. Bd. 98, S. 241, 1903.
Id. Id. Bd. 100, S. 367, 1903.
Id. Id. Bd. 101, S. 201, 1904.
Nernst, Nachr. von d. Ges. d. Wiss., in Göttingen-Math. phys. Kl. 1899, Heft 1; S. 104.
Zeynek, Ibid, S. 94.
Nernst und Barrat, Zeitschr. f. Elektrochemie, 1904, S. 664.
Galeotti, Zeitschrift f. All. Physiol., Bd. 6, Heft 1, S. 99, 1906.
C. Foà, Archivio di Fisiologia, Vol. III, Fasc. III, pag. 369, 1906.

Patologia. — *Sulla morfologia e sul ciclo evolutivo del parassita della rabbia.* Nota del dott. A. Negri, presentata dal Socio B. Grassi.

Biologia. — *Metodi adoperati per aumentare artificialmente la produzione del sesso femminile nei conigli e per fissare nella prima generazione degli incroci le varietà recenti.* Nota di Achille Russo, presentata dal Socio B. Grassi.

Queste Note saranno pubblicate nel prossimo fascicolo.

E. M.