

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIX.

1912

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXI.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1912

Fisiologia. — *Ricerche di elettrofisiologia sui tessuti di sostegno* <sup>(1)</sup>. Nota I del dott. TULLIO GAYDA <sup>(2)</sup>, presentata dal Socio P. FOA.

Il capitolo della fisiologia che riguarda l'elettricità animale va ogni giorno estendendosi maggiormente, così che i fenomeni elettromotori non si possono più considerare come appartenenti solo al sistema nervoso o muscolare, ma si devono attribuire a tutte le cellule viventi. Così furono descritti fenomeni elettromotori anche negli epiteli, nelle ghiandole, nella retina e perfino nelle piante.

I tessuti di sostegno invece non furono ancora oggetto di studio a questo riguardo, almeno per quanto mi consta. Mi proposi perciò di eseguire alcune ricerche in proposito e più precisamente di indagare anzitutto se esiste per i tendini, le cartilagini e le ossa una corrente di riposo e quindi se si manifestano fenomeni elettrici in questi tessuti, quando essi vengano sottoposti a quelle stesse azioni meccaniche alle quali soggiacciono durante il normale funzionamento dell'organismo.

Sperimentai essenzialmente sulla trazione e sulla compressione, perchè queste sono le azioni meccaniche più semplici alle quali si possono ridurre almeno in parte tutte le altre; così la flessione si può considerare come una trazione nel lato che diventa convesso ed una compressione in quello che diventa concavo; la torsione come una trazione secondo un'elica.

Come oggetto di studio scelsi il tendine d'Achille, le cartilagini costali, le coste, il femore e le ossa piatte del cranio di coniglio. L'animale era ucciso per dissanguamento; il tessuto da esaminare veniva subito isolato dall'organismo, liberato dai muscoli e dalle aponeurosi, immerso in liquido di Ringer-Locke a temperatura ambiente e tenuto fino al momento dell'esperimento.

Per esercitare la trazione il tessuto in esame veniva legato nel mezzo e fissato solidamente su di un piano orizzontale di vetro o di ebonite. Ad una delle due estremità del tessuto veniva poi legato uno spago che passava sopra una carrucola e sosteneva un piattello di bilancia. Per mezzo della legatura mediana il tessuto era adunque diviso in due parti, delle quali una rimaneva in riposo, l'altra poteva essere assoggettata a trazione di vario grado caricando il piattello di bilancia con diverso peso. Su queste due parti

<sup>(1)</sup> Lavoro eseguito nel Laboratorio di Fisiologia della R. Università di Torino.

<sup>(2)</sup> Pervenuta all'Accademia il 2 ottobre 1912.

si applicavano due elettrodi impolarizzabili che si collegavano col galvanometro.

La compressione veniva esercitata su di un tratto assai limitato di tessuto, seguendo un metodo simile a quello adoperato da Ducceschi (1) per lo studio dell'influenza della compressione sulla conduzione dei nervi. Il tessuto era posto sopra un piano orizzontale di sostanza isolante, fra due fori praticati nel piano stesso ad una distanza l'uno dall'altro uguale al diametro del tessuto; esso veniva quindi abbracciato da un'ansa di spago i cui due capi passavano attraverso i fori e sostenevano un piattello di bilancia. Caricando questo con pesi si poteva esercitare nel punto del tessuto sottoposto all'ansa una compressione di vario grado. Gli elettrodi impolarizzabili poi erano applicati uno in corrispondenza del punto compresso del tessuto, l'altro su di un altro punto che rimaneva in riposo.

La flessione e la torsione erano sperimentate senza essere graduate, cioè solo qualitativamente. Il tessuto era fissato nel mezzo come per la trazione, una delle due parti del tessuto veniva afferrata con un oggetto isolante e così sottoposta a flessione o torsione. Anche qui un elettrodo era applicato sulla porzione di tessuto in riposo, l'altro su quella assoggettata all'azione meccanica in vicinanza al punto fissato.

Gli elettrodi impolarizzabili, secondo Oker-Blom, erano riempiti con soluzione di calomelano e cloruro sodico al 0,92 %, fra questa soluzione ed il tessuto era interposta una soluzione di solo cloruro sodico al 0,92 %. La resistenza di ogni elettrodo era di circa 1700 ohm.

L'intensità della corrente era misurata per mezzo di un galvanometro di Thomson, costruito dalla casa Elliott di Londra, con una resistenza interna di 7042 ohm. Il galvanometro era appeso ad una sospensione di Julius. Stando la scala alla distanza di due metri, una deviazione di 1 cm. corrispondeva a  $2.17 \times 10^{-8}$  ampère.

Per la misurazione della forza elettromotrice venne seguito il metodo di compensazione di Poggendorf-Ostwald adoperando una pila normale a cadmio ed il galvanometro.

La misurazione della resistenza infine era eseguita col metodo del ponte di Wheatstone e del telefono.

Esaminiamo ora separatamente i risultati ottenuti dagli esperimenti sui tendini, sulle cartilagini e sulle ossa.

Per quanto riguarda i tendini, se si applica uno degli elettrodi, collegati col galvanometro, sulla superficie di sezione e l'altro sulla superficie esterna naturale del tendine non si ottiene alcuna corrente paragonabile a quella di demarcazione dei muscoli e dei nervi.

(1) V. Ducceschi, *Ueber die Wirkung engebegrenzter Nervencompression*. I Mitth. Pflüger's Arch., 83, 40, 1900.

Una corrente invece si produce costantemente ogni qual volta si sottopone il tendine ad una trazione col procedimento descritto dianzi. La porzione del tendine che viene tesa diventa negativa rispetto a quella che rimane in riposo, quindi nel tendine la corrente è diretta dalla prima porzione verso la seconda. La corrente dura per tutto il tempo in cui si esercita la trazione, va tuttavia diminuendo benchè lentamente, scompare col cessare della trazione. L'intensità della corrente varia direttamente col grado della trazione. Sembra che non abbia influenza sull'intensità della corrente l'esercitare la trazione gradatamente o tutto ad un tratto. Il primo metodo anzi è preferibile e fu quello da me adottato, perchè l'ago del galvanometro dopo di avere raggiunto la massima deviazione, corrispondentemente alla massima trazione, si ferma senza oscillazioni e così si può fare subito la lettura esattamente, dato il fatto che l'intensità della corrente diminuisce più rapidamente in principio della trazione che non in seguito. Naturalmente esercitando questa trazione, per quanto graduale, non si deve impiegare più di 3 o 4 secondi per raggiungere il massimo. È indifferente che l'elettrode della porzione non tesa sia applicato sulla superficie naturale o su quella di sezione. Non si ottiene corrente se si applicano tutti e due gli elettrodi sulla porzione che subisce la trazione o tutti e due su quella che rimane in riposo. Si ottiene invece una corrente debolissima se si applica un elettrode su di una soluzione di continuo praticata sulla superficie della porzione soggetta a trazione e l'altro su un altro punto di questa porzione più lontano dalla porzione non tesa. Poichè quando si esercita la trazione la porzione di tendine che la subisce allungandosi scorre sotto l'elettrode, può sorgere il dubbio che la corrente sia dovuta a questo scorrimento. Ora ciò non è poichè non si produce corrente se, essendo il tendine in riposo o teso, si spostano gli elettrodi lungo di esso.

Riporto nella tabella I i risultati ottenuti in alcuni esperimenti sul tendine d'Achille. In questi esperimenti le singole trazioni duravano solo il tempo necessario per eseguire la lettura della scala, quindi il tendine veniva subito riportato nella posizione di riposo.

Come risulta dalla tabella, in generale i valori ottenuti con pesi tensori decrescenti sono minori di quelli ottenuti con pesi tensori crescenti, i primi però presentano variazioni più regolari. La forza elettromotrice è molto piccola e non misurabile col metodo della compensazione di Poggendorf Ostwald: per compensare la corrente del tendine inserita nel circuito della pila normale in equilibrio con un accumulatore, basta spostare il contatto scorrevole del recordo solo di frazioni di millimetro. Ma, poichè si conosce l'intensità della corrente, si può calcolare la forza elettromotrice indirettamente dalla resistenza totale del circuito. Ora, come si può osservare nella tabella, per effetto della trazione tale resistenza presenta solo piccole varia-



zioni e non in una direzione costante, si deve concludere perciò che la forza elettromotrice della corrente varia parallelamente all'intensità.

TABELLA I.

Peso tensore g.	Esperimento VI		Esperimento VII		Esperimento XI		Esperimento XIV	
	Deviazione mm.	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm
0	0	12970	0	14000	0	11460	0	12160
500	8	—	7	—	2	—	2	—
1000	20	—	15	—	5	—	13	—
1500	26	—	20	—	7	—	20	—
2000	35	—	25	—	12	—	25	—
2500	40	—	29	—	18	—	27	—
3000	55	12900	33	13980	30	11460	32	12570
2500	39	—	24	—	23	—	24	—
2000	27	—	17	—	16	—	17	—
1500	17	—	10	—	10	—	10	—
1000	10	—	6	—	5	—	6	—
500	3	—	3	—	1	—	3	—

Per il prolungarsi della trazione o in seguito a replicate trazioni l'intensità della corrente diminuisce, dapprima più rapidamente, poi sempre più lentamente avvicinandosi asintoticamente allo zero. Se ora si lascia per qualche tempo il tendine in riposo, si osserva un restauro almeno parziale dei fenomeni elettromotori. Ecco due esempi di questo comportamento dell'intensità della corrente.

ESPERIMENTO XVIII.

Il tendine d'Achille è sottoposto a trazione continua con un peso tensore di 3000 grammi, la deviazione in millimetri dell'ago del galvanometro viene letta ad intervalli di 10'':

25-20-17-15-13-12-11-10-9-9-8-8-7-7-7-6-6-6-6-5-5-5-5-5.

Si sospende la trazione. Dopo 1 ora la trazione con 3000 g. dà una deviazione di 10 mm.

ESPERIMENTO XXI.

Il tendine d'Achille è sottoposto a trazione continua con un peso tensore di 1000 g., la deviazione in mm. dell'ago del galvanometro viene letta ad intervalli di 10'':

5-4-4-4-4-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3.

Il peso tensore è portato a 2000 g.:

16-12-11-10-9-9-8-8-8-8-7-7-7-7-6-6-6-5-5-5.

Il peso tensore è portato a 3000 g.:

15-13-12-11-10-9-8-8-8-7-7-7-7-6-6-6-5-5.

Si sospende la trazione. Dopo 15' la trazione con 3000 g. dà una deviazione di 15 mm.

Sui tendini non vennero sperimentate altre azioni meccaniche oltre la trazione, perchè questa è l'unica che abbia importanza dal lato fisiologico.

Se passiamo ad esaminare i risultati ottenuti dagli esperimenti sulle cartilagine costali, osserviamo che, per quanto riguarda la trazione, essi sono perfettamente analoghi a quelli ottenuti per i tendini. Nella tabella II sono raccolti i risultati ottenuti con trazioni di vario grado.

TABELLA II.

Peso tensore g.	Esperimento XXI		Esperimento XXI		Esperimento XXIV		Esperimento XXV	
	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm
0	0	13580	0	12290	0	12920	0	12540
500	1	—	1	—	6	—	4	—
1000	2	—	5	—	12	—	5	—
1500	4	—	17	—	20	—	8	—
2000	10	—	30	—	31	—	16	—
2500	14	—	46	12290	47	12920	24	12540
3000	20	13580	—	—	—	—	—	—
2500	15	—	—	—	—	—	—	—
2000	11	—	27	—	35	—	17	—
1500	7	—	15	—	25	—	11	—
1000	4	—	6	—	16	—	7	—
500	2	—	2	—	10	—	3	—

L'esperimento XXVI dimostra la diminuzione dell'intensità della corrente per una trazione prolungata ed un restauro parziale dopo il riposo.

ESPERIMENTO XXVI.

La cartilagine costale è sottoposta a trazione continua con un peso tensore di 2000 g., la deviazione in mm. dell'ago del galvanometro viene letta ad intervalli di 10":

37-30-25-21-20-19-18-17-16-15-15-15-15-14-13-12-12-12-11-11.

Si sospende la trazione. Dopo 30' la trazione con 2000 g. dà una deviazione di 24 mm.

In quanto alla compressione i risultati sono ancora identici a quelli ottenuti colla trazione. Anche qui il punto compresso diventa negativo rispetto ai punti in riposo. A differenza della trazione però in seguito a replicate compressioni si può avere un aumento dell'intensità della corrente. Infatti, come si può osservare nella tabella III, in cui si trovano i risultati di alcuni esperimenti sulla compressione, i valori ottenuti con pesi compressori decrescenti sono in generale maggiori di quelli ottenuti con pesi compressori crescenti e nell'esperimento XXVIII, in cui si eseguirono successivamente due serie di compressioni, i valori ottenuti nella seconda serie sono sensibilmente maggiori di quelli corrispondenti nella prima.

TABELLA III.

Peso compressore g.	Esperimento XXVII		Esperimento XXVIII				Esperimento XXX	
	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm	Deviazione mm	Resistenza ohm
0	0	13290	0	13410	0	13410	0	11940
500	7	—	7	—	11	—	16	—
1000	15	—	13	—	20	—	27	—
1500	21	—	19	—	27	—	41	—
2000	26	—	27	—	35	—	51	—
2500	34	—	32	—	41	—	61	—
3000	46	13290	40	13410	50	13410	70	11940
2500	40	—	35	—	45	—	64	—
2000	36	—	32	—	40	—	53	—
1500	29	—	27	—	32	—	42	—
1000	17	—	20	—	23	—	33	—
500	12	—	13	—	14	—	18	—

L'esperimento XXXI dimostra la diminuzione dell'intensità della corrente per una compressione prolungata ed un aumento dopo un breve riposo.

ESPERIMENTO XXXI.

La cartilagine costale è sottoposta a compressione continua con un peso compressore di 3000 g., la deviazione in mm. dell'ago del galvanometro viene letta ad intervalli di 10":

60-55-50-45-41-37-34-31-28-25-23-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-11-11-11-10.

Si sospende la compressione. Dopo 10' la compressione con 3000 g. dà una deviazione di 68 mm.

Come è da aspettarsi anche nella flessione e nella torsione della cartilagine la porzione che subisce l'azione meccanica diventa negativa rispetto a quella che rimane in riposo.

Infine per quanto riguarda le ossa, se si applica un elettrode sulla superficie naturale del femore e l'altro sulla superficie di sezione, sia questa fatta in corrispondenza della diafisi o dell'epifisi, si trova che la superficie di sezione è positiva rispetto a quella naturale. La deviazione dell'ago del galvanometro può essere di 50 mm. per una resistenza totale del circuito di 14540 ohm. Si ha adunque qui una corrente paragonabile a quella di demarcazione dei muscoli e dai nervi; solamente la direzione della prima è inversa a quella della seconda. Correnti analoghe non si possono ottenere nè dalle coste, nè dalle ossa piatte del cranio. Così non si ottengono correnti applicando un elettrode sulla superficie esterna delle ossa piatte del cranio e l'altro sulla superficie interna.

Di fronte alle azioni meccaniche il femore non presenta correnti, così neppure le coste per la trazione. Solo con una compressione di almeno 8000 g. o colla flessione si possono ottenere dalle coste correnti debolissime, ma non costanti, la direzione di queste correnti è uguale a quella osservata per le cartilagini costali.

Come si possono spiegare tutti i fenomeni che abbiamo osservato per i tessuti di sostegno? Cercherò di dare una risposta a questa domanda in una prossima Nota.

E. M.