

STEFAN JELLINEK

## THE ELECTRIC ACCIDENT IN THE LIGHT OF FARADAY'S SYMBOLS

The author sets forth his views on the distribution of electric current within the body at the moment of an electrical accident, and on the antagonism and the interaction of the electric current and living matter. He puts forward the opinion that the changes in the tissue should form the basis for the interpretation of clinical symptoms and for a rational therapy.

The subject matter is as old as the history of mankind; already in mythology there are mentions of victims of strokes of lightning. The great advances in electrical technology and its applications in industry made the matter particularly acute and various medical men started investigations into the effect of the electric trauma on the living organism. The application of certain theorems of electrophysics and the use of measuring instruments led to some theoretical advances but to little in the medical treatment of the victims of electric trauma. On the contrary, two particular errors crept into these scientific beliefs which occasionally have a fatal influence even now:

1. The sudden cessation of all signs of life at the moment of electrification is misinterpreted as the cessation of life (i. e. by ventricular fibrillation) which would mean that all attempts at resuscitation are hopeless. Moreover, practical experience of electrical accidents has taught us that many doctors called to the scene of an electrical accident think they need do no more than sign a certificate of death.

2. It has become the general practice in many places to regard all the external injuries of the victim of an electric accident as burns (combustio electrica); and as burns are regarded as septic conditions these so-called »septic foci« are often removed by the primary amputation of limbs.

The erroneous »dogma« of death by irreversible ventricular fibrillation originated in an experiment on dogs in 1899 which showed that the heart of the electrocuted dog at once goes into ventricular fibrillation and ceases to beat. The application of this to human pathology is not permissible for the following two reasons:

- a) Hundreds of autopsies made in Vienna on the victims of electric accidents showed quite clearly that death could not have

been an instantaneous but rather a slow effect (cerebral oedema, pulmonary oedema, endocardial and epicardial haemorrhages etc.), i. e. not by ventricular fibrillation.

b) An experiment (similar to the dog experiment) which we carried out on the monkey (*Macacus rhesus*) did also produce ventricular fibrillation which lasted sometimes more than a minute but always disappeared again spontaneously and without a trace.

The doctrine of the Vienna school that »death by electricity« is at first only apparent death is gaining increasing support and more and more successful resuscitations are being reported (1). The requisites hereto are artificial respiration and lumbar puncture.

The authors who regard the external injuries as nothing but burns by the electric current completely disregard the great problem of the natural principle of the actions of electricity. There certainly occur burns by electricity, especially by arc discharges, the great majority of electric traumata, however, produce clinical pictures and anatomical pathological changes of a previously quite unknown character; pictures which are without analogy in general pathology. Whether we are dealing with a relatively inconspicuous *electric mark* (skin alteration), or with laesions going deeper into the tissues (joints, bones, inner organs), or with *immediate necroses* of a finger or of a limb; in all these instances the effects of the current are painless and without signs of inflammation, without appreciable temperature changes or impairment of the general condition of the patient. One of the nature of the electrical action, i. e. the working mechanisms severe injuries (e. g. elbow joint) may lead to an almost unimaginably favourable process of healing and a 'restitutio ad integrum' (2).

The attention of the Vienna school to the electric mark in particular was centred on the *anatomical changes of living matter* by the electric current and correlated with histological and experimental studies. Microscopical observations especially helped in the study of the nature of the electrical action, i. e. the working mechanisms of the electrical current on cells and other tissue elements; thus, the effected tissues were shown to have suffered morphological deformations which had not previously been known in pathology, deformations of a regular geometrical character. E. g.: many spheroidal (epithelial) cells may be transformed into straight needle-like structures, other cells (smooth muscle) into curved, corkscrew-like formations; the cells are apparently in a *forced condition*. As this forced condition was caused by the working mechanisms of the current flowing between the two poles one may speak of a *polarized state*.

The morphological changes of the cells are so characteristic, so pathognomonic that one may regard them as criteria of the passage

of electric current at the point concerned. The same regular geometrical character of the otherwise apparently unaffected, i. e. not disintegrated cells is furthermore a clue that the »mechanical force« and not the destructive heating action of the current was responsible for these changes.

This electrogenic differential morphology or 'polarisation' shown usually by the epithelial and smooth muscle cells respectively strongly suggests specific forms of polarisation in strict accordance with the type of tissue concerned; this is in agreement with Faraday's observation that »the modes of polarisation probably vary in the different substances«.

For an elucidation of the action of these forces experiments were made with positive and negative electrodes to show, if possible, the respective (positive and negative) mechanical actions separately: the results were surprising, for it was possible to gain insight into the nature of the mechanical forces and it showed, moreover, that like the chemical action of the current the mechanical forces produced different or opposed effects according to polarity: under the positive electrode there was a phenomenon of condensation, of inspissation of the tissues, but under the negative there was a loosening, a relaxation of the tissues.

Electrical accident practice also frequently shows this condensing action (continuity in space) of the positive and the loosening action (discontinuity) of the negative electrode.

These empirical and experimental findings receive support by the fact that they are not in disagreement with Faraday's fundamental »Researches on Electricity« (3). When we read in Faraday's theorem 1503 »... the preponderance may originate from ... particles of air and of nitrogen ... the negative part is perhaps more compressed, the positive more diffuse, or vice versa ...« we may state affirmatively from our experiments that the skin of human corpses is »more compressed« (phenomenon of condensation) under the positive electrode but »more diffuse« under the negative (phenomenon of relaxation).

In theorem 1465 Faraday says »... in brush-discharges in air there is a very remarkable difference between the positive and negative surfaces a full understanding of which would doubtless be of the greatest importance to the theory of electricity«.

As with the polar effects of the mechanical force the same applies to the chemical effects of the electrical current. Thus, when a 15 cm length of artery from a recently killed calf has polished brass electrodes from a 110 Volt (direct current) installation applied to its ends and the current is passed for a few seconds we find an electric mark of green coloration under the positive, and a red one

under the negative electrode. When a comparable preparation of vagus nerve from the same animal is treated in the same manner there is also a green electric mark under the positive pole but no colour reaction under the negative electrode.

These findings demonstrate not only the different chemical reactions under the two poles, but also the variation of these tests according to the tissues concerned, i. e. a *tissue specificity*.

*Electrogenous rarefactions and vacuolations in tissues:* we are here concerned with a particular kind of change which is distinct from both the mechanical and the chemical effects of the current. It is unlikely that we are dealing with heat effects as the appropriate signs of caloric action (histological staining reactions) are absent. These relaxations and rarefactions of tissues culminate in the formation of vacuoles and cavitations reminiscent of the effects of ultrasonic waves; thus we may find perinuclear vacuoles and »haloes« surrounding and constricting the nuclei of the cells, as well as interstitial gaps in the tissues of all kinds and shapes. These alterations may appear in the skin or the internal organs and their cumulation, e. g. in the vascular walls, may lead to various serious complications such as thromboses with distant embolisms, haemorrhages, etc.

These rarefactions and vacuolations may also lead to the most impressive electrical morphological changes in the brain substance.

It stands to reason that these novel characteristic changes in the tissues may serve to give us new views of the distribution of the electric current in the interior of the body and of the antagonisms and reactions of electricity and living matter; they form a basis for the interpretation of clinical symptoms and for rational principles of treatment. (4)

Queen's College  
Oxford

#### BIBLIOGRAPHY

1. Dying, Apparent Death and Resuscitation, Baillière, Tindall & Cox, London, 1947.
2. Jellinek S.: Klinik und Histopathologie der elektrischen Verletzungen, J. A. Barth, Leipzig, 1932.
3. Jellinek S.: Faraday's Symbole als Grundlage einer neuen biol. Forschung. Urban & Schwarzenberg, Wien, 1949.  
Histographie und biotische Aspekte des elektrischen Stromes. Mikroskopie, Vol. 5, No. 11/12, 1950.
4. Jellinek S.: Durch Elektrizität verursachte anatomische und innerstrukturelle Gewebsveränderungen als Leitmotive einer Erkenntnistherapie. Medizinische Welt, No. 19, 1950.

## NEZGODE OD ELEKTRIČNE STRUJE U SVIJETLU FARADAYEVIH SIMBOLA

Predmet ove rasprave je star kao historija čovječanstva; već se u mitologiji spominju žrtve udara munje. Zbog velikog napretka u električnoj tehnologiji i zbog njezine primjene u industriji postao je taj problem naročito akutan. Različiti medicinski stručnjaci započeli su istraživanja o učinku električne traume na živi organizam. Primjenom nekih teorema elektrofizike i upotrebom mjernih instrumenata postignuti su neki teorijski uspjesi, ali je terapija žrtava električne traume malo napredovala. Naprotiv, uvukle su se u ta znanstvena mišljenja dvije naročite pogreške, koje imaju sudbonosan utjecaj još i sada:

1. Nagli prestanak svih znakova života u času električnog udara krivo se interpretira kao prestanak života (t. j. zbog ventrikularne fibrilacije), a to bi značilo, da su svi pokušaji oživljavanja unesrećenoga beznadni. Štoviše, praktično iskustvo o električnim nezgodama naučilo nas je, da mnogi liječnici pozvani na mjesto, gdje se dogodila nezgoda od električne struje, misle da ne treba da učine ništa drugo, nego da potpišu smrtovnicu.

2. Na mnogim je mjestima postala opća praksa, da se sve vanjske ozljede žrtava električnih nezgoda smatraju za opekline (combustio electrica); budući da se opekline smatraju za septička stanja, ta t. zv. »septička žarišta« često se uklanjaju primarnom amputacijom ekstremiteta.

Pogrešna »dogma«, da do smrti dolazi zbog ireverzibilne ventrikularne fibrilacije, rodila se u jednom eksperimentu na psima 1899. g., koji je pokazao, da srce psa ubijenog električnim udarom odmah prelazi u stanje ventrikularne fibrilacije i prestaje da kuca. Primjena tog rezultata na humanu patologiju nije dopuštena iz ova dva razloga:

a) Rezultati stotina autopsija izvršenih u Beču na žrtvama električnih nezgoda pokazuju potpuno jasno, da do smrti nije moglo doći momentano, nego dosta polako (cerebralni edem, plućni edem, endokardijalna i epikardijalna krvarenja i t. d.), t. j. da do smrti nije došlo zbog ventrikularne fibrilacije.

b) Eksperiment (sličan eksperimentu na psu), koji smo mi izvršili na majmunu (*Macacus rhesus*) pokazao je također, da dolazi do ventrikularne fibrilacije, koja je katkada trajala više od jedne minute, ali je uvijek ponovo nestala sama od sebe i bez tragova.

Doktrina bečke škole, da je »smrt od električnog udara« isprva samo prividna smrt, dobiva sve veću i veću potporu, te se objavljuje sve veći i veći broj uspješnih oživljavanja (1). Pomagala za oživljavanje su umjetno dišanje i lumbalna punkcija.

Autori, koji smatraju vanjske ozljede samo opeklinama od električne struje, potpuno zanemaruju veliki problem o prirodnom principu djelovanja elektriciteta. Dakako da ima opekline od elektriciteta, naročito kod nezgoda uzrokovanih električnim lukom, ali većina električnih ozljeda pokazuje kliničke slike i anatomske patološke promjene potpuno novog karaktera, slikama kojima nema analogije u općoj patologiji. Bilo da se radi o relativno neznatnim električnim znakovima (promjena na koži), ili o povredama, koje ulaze dublje u tkivo (zglobovi, kosti ili unutrašnji organi), ili o momentanim nekrozama prsta ili uda, u svim tim slučajevima su učinci struje bezbolni i bez znakova upale, bez osjetljivih temperaturnih promjena ili oštećenja općeg stanja pacijenta. Jedan od tih novih problema je također potpuno novo opažanje, da i kod vrlo teških ozljeda (na pr. ozljede lakta) može da dođe do upravo nevjerovatno povoljnog procesa ozdravljenja i do »restitutio ad integrum« (2).

Pažnja bečke škole, naročito u vezi s električnim znakovima, bila je upravljena na anatomske promjene žive materije uzrokovane električ-

nom strujom i na korelaciju tih promjena s histološkim i eksperimentalnim studijama. Mikroskopska opažanja naročito su mnogo pomogla u proučavanju prirode električnog djelovanja, t. j. u proučavanju mehanizma djelovanja električne struje na stanice i druge elemente tkiva. Pokazalo se, da kod tkiva, koje je izvrgnuto djelovanju električne struje, dolazi do morfoloških deformacija, koje nisu prije bile poznate u patologiji, do deformacija pravilnog geometrijskog karaktera. Mnoge sferoidalne (epitelijalne) stanice mogu se na pr. transformirati u ravne, iglama slične strukture, a druge neke stanice (glatki mišići) u savijene, svrdlu slične formacije; čini se, da su te stanice u nekom prisilnom stanju. Budući da je to prisilno stanje uzrokovano mehanizmom električne struje, koja teče između dva pola, može se govoriti o polariziranom stanju.

Morfološke promjene stanica su tako karakteristične, tako patognomonične, da se mogu smatrati kriterijem, da li je električna struja prošla kroz to mjesto. Taj isti pravilni geometrijski karakter inače prividno neostecenih, t. j. nerazbijenih stanica ukazuje na to, da su te promjene nastale zbog djelovanja »mehaničke sile«, a ne zbog destruktivnog ugrijavanja.

Ta elektrogena diferencijalna morfologija ili »polarizacija«, koju obično pokazuju epitelijalne stanice i stanice glatke muskulature, izrazito ukazuje na specifične oblike polarizacije strogo u skladu s tipom (vrstom) tkiva; to je u skladu s Faradayevim opažanjem, da »je način polarizacije vjerojatno različit u različitim supstancijama«.

Da objasnimo djelovanje tih sila, izvršili smo eksperimente s pozitivnim i negativnim elektrodama, kako bismo pokazali, ako je to moguće, pozitivno i negativno djelovanje napose; rezultati su nas začudili, jer su nam omogućili da dobijemo uvid u prirodu mehaničkih sila. Ti su rezultati štoviše pokazali, da te mehaničke sile, kao i kemijsko djelovanje struje, mogu proizvesti različite ili oprečne efekte, već prema polaritetu: ispod pozitivne elektrode dolazilo je do kondenzacije, t. j. zgusnulo se tkivo, a ispod negativne do otpuštanja, do relaksacije tkiva.

Praksa električnih nezgoda često pokazuje to kondenzacijsko djelovanje (kontinuitet u prostoru) pozitivne i relaksacijsko djelovanje (diskontinuitet) negativne elektrode.

Ti empirijski eksperimentalni nalazi imaju podršku u Faradayevim osnovnim »Istraživanjima o elektricitetu« (3). Kad u Faradayevu teoremu 1503 čitamo »... do prevladavanja može da dođe od... čestica zraka i dušika... negativni dio je moguće više komprimiran, a pozitivni dio više difuzan, ili obratno...«, možemo sa sigurnošću ustvrditi na osnovu naših eksperimenata, da je koža ljudskih lešina »više komprimirana« (pojava kondenzacije) ispod pozitivne elektrode, a »više difuzna« ispod negativne (pojava relaksacije).

U teoremu 1465 Faraday kaže »... kod četkastog pražnjenja u zraku postoji vrlo značajna razlika između pozitivnih i negativnih površina. Razumijevanje tih razlika bilo bi bez sumnje od najvećeg značenja za teoriju elektriciteta«.

Kemijsko djelovanje električne struje pokazuje iste polarne efekte kao mehaničko djelovanje električne struje. Tako na pr. kad na 15 cm dugu arteriju nedavno ubijenog teleta pričvrstimo polirane mjedene elektrode izvora istosmjerne struje od 110 volta i pustimo da struja prolazi nekoliko sekunda, naći ćemo električni znak zelene boje ispod pozitivne, a crveni znak ispod negativne elektrode. Ako se sličan preparat vagusa iste životinje obradi na isti način, također se nađe zeleni električni znak ispod pozitivnog pola, ali ispod negativne elektrode nema obojene reakcije.

Ti nalazi pokazuju ne samo različito kemijsko djelovanje dvaju polova nego i to, da ti testovi variraju prema vrsti tkiva, t. j. da postoji specifičnost tkiva.

Elektrogeno razrjeđenje i vakuolacija tkiva predstavljaju naročitu vrstu promjena, koje se razlikuju i od mehaničkih i od kemijskih učinaka struje. Nije vjerojatno, da se radi o toplinskim učincima, budući da nema znakova kaloričnog djelovanja (histološke obojene reakcije).

Te relaksacije i razrjeđenje tkiva kulminiraju u stvaranju vakuola i kavitacija, koje nas sjećaju na učinke ultrazvučnih valova. Možemo na pr. naći perinuklearne vakuole i svijetle prstene, koji okružuju i stiskuju jezgre stanica, a isto tako možemo naći međustanične šupljine u tkivu svih vrsta i oblika. Te se alteracije mogu pojaviti na koži ili na unutarnjim organima; zbog nagomilavanja tih alteracija, na pr. na zidovima žila, može da dođe do različitih ozbiljnih komplikacija, kao što su tromboze s embolijama, hemoragijama i t. d.

Ta razrjeđenja i vakuolacije mogu dovesti do električnih morfoloških promjena u mozgovnoj supstanciji, koje izazivaju najdublji dojam kod promatrača.

Ove nove karakteristične promjene u tkivu nesumnjivo nam otvaraju nove poglede na raspodjelu električne struje u unutrašnjosti tijela te na antagonizme i reakcije električne struje i žive materije; one sačinjavaju osnovu za interpretaciju kliničkih simptoma i za racionalne principe terapije (4).

Queen's College  
Oxford