



**KORELASI ANTARA BESAR ARUS LISTRIK MELALUI
MEDIUM AIR DENGAN KERUSAKAN HISTOPATOLOGI
OTOT GASTROCNEMIUS TIKUS WISTAR**

*THE CORRELATION BETWEEN ELECTRIC CURRENT THROUGH WATER
CONDUCTION WITH THE DAMAGE OF WISTAR RAT'S GASTROCNEMIUS
MUSCLE*

ARTIKEL KARYA TULIS ILMIAH

**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna mencapai derajat sarjana strata-1 kedokteran umum**

**DOSY MUDI NURINA
G2A006052**

**PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA KEDOKTERAN
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
TAHUN 2010**

KORELASI ANTARA BESAR ARUS LISTRIK MELALUI MEDIUM AIR DENGAN KERUSAKAN HISTOPATOLOGI OTOT GASTROKNEMIUS TIKUS WISTAR

Dosy Mudi Nurina¹, Arfi Syamsun², Gatot Suharto³

ABSTRAK

Latar belakang: Kematian akibat sengatan listrik dalam air tidak selalu menunjukkan fenomena spesifik. Sengatan listrik dapat menyebabkan kerusakan otot ekstremitas, sehingga pemeriksaan histopatologi perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar korelasi antara besar arus listrik melalui medium air dengan kerusakan histopatologi otot gastroknemius tikus *Wistar* yang berupa jumlah titik hiperkontraksi serabut otot yang terjadi.

Metode: Penelitian eksperimental dengan desain *post test only control group*, menggunakan tikus *Wistar* sebagai sampel penelitian. Tiga puluh ekor tikus *Wistar* yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi diadaptasi selama satu minggu kemudian dibagi kedalam lima kelompok, tiap kelompok terdiri dari enam ekor tikus *Wistar*. Satu kelompok kontrol tidak diberi paparan arus listrik dan empat kelompok lainnya diberi paparan arus listrik bertingkat, mulai dari 1-30 mA, 31-60 mA, 61-90 mA dan 91-120 mA. Semua sampel dilakukan penghitungan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot yang terjadi. Uji hipotesis menggunakan uji *Spearman* dengan *SPSS for Windows 11.5*.

Hasil: Uji *Spearman* menunjukkan nilai $p=0,000$ atau terdapat korelasi bermakna antara besar arus listrik dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot. Nilai korelasi positif dengan kekuatan korelasi sangat kuat ($r=0,852$).

Simpulan: Semakin besar paparan arus listrik yang diberikan, maka makin besar pula jumlah titik hiperkontraksi serabut otot yang terjadi. Jumlah titik hiperkontraksi serabut otot dapat menggambarkan kerusakan histopatologi otot rangka akibat paparan arus listrik.

Kata kunci: arus listrik, hiperkontraksi otot, medium air

¹Mahasiswa program pendidikan S-1 kedokteran umum FK Undip

²Staf pengajar Bagian Ilmu Kedokteran Forensik FK Undip

³Staf pengajar Bagian Ilmu Kedokteran Forensik FK Undip

THE CORRELATION BETWEEN ELECTRIC CURRENT THROUGH WATER CONDUCTION WITH THE DAMAGE OF WISTAR RAT'S GASTROCNEMIUS MUSCLE

ABSTRACT

Background: Death by electrocaution in the water is not always indicate a specific phenomenon. Electric shock can cause damage to limb muscles, so hystopathologic examination is necessary. This study aimed to determine how strong the correlation between the electric current through water conduction with the damage of Wistar rat's gastrocnemius muscle in the form hypercontraction points number of muscle fibers that occur.

Methods: This was an experimental study with post test only control group design, using Wistar rats as research samples. Thirty Wistar rats whose have inclusion and exclusion criterias was adapted for one week and then divided into five groups, each groups had six Wistar rats. One control group was not given the exposure of electric current and the four other groups were given exposure of electric current-rise, ranging from 10-30 mA, 31-60 mA, 61-90 mA and 91-120 mA. All of the samples was examined by counting the number of hypercontraction points of muscle fibers that occur. Hypothesis test uses Spearman test by SPSS for Windows 11.5.

Result: Spearman test indicates $p = 0.000$ or there was a significant correlation between the exposure of electric current with the number of hypercontraction points of muscle fibers. The value had a very strong positive correlation ($r = 0.852$).

Conclusion: The greater the exposure of electrical currents is given, the number of hypercontraction points of muscle fibers that occur is getting greater too. The number of hypercontraction points of muscle fibers can describe the damage of skeletal muscles are due to the electrical injuries.

Key words: electric current, muscle hypercontraction, water conduction

PENDAHULUAN

Kematian akibat sengatan listrik dalam air tidak selalu menunjukkan fenomena spesifik (*electrical marks*) yang dapat terbentuk akibat proses elektrolisis pada saat arus melewati konduktor logam menuju tubuh. Studi kasus kematian melaporkan hanya 55% yang menunjukkan tanda tersebut, oleh sebab itu diagnosa kematian akibat sengatan listrik merupakan hasil kerjasama antara patologi forensik, toksikologi forensik, dan polisi penyelidikan.^{1,2}

Jumlah korban akibat sengatan listrik mulai meningkat dalam kurun waktu 2005 sampai 2008 berdasarkan catatan rekam medik RSUP dr. Karyadi. Trauma akibat sengatan listrik bahkan menduduki peringkat kelima sebagai penyebab kematian yang berkaitan dengan pekerjaan.^{3,4}

Air termasuk salah satu konduktor listrik. Daya konduktivitas air dipengaruhi oleh keberadaan ion-ion yang terkandung di dalamnya, terutama garam. Semakin banyak ion terkandung dalam suatu larutan garam, maka semakin banyak muatan listrik yang dialirkan. Air sebagai mediator arus listrik memberikan pengaruh pada hasil sengatan listrik sebab air menurunkan tahanan tubuh dan produksi energi panas, sehingga arus listrik yang masuk ke dalam tubuh menjadi lebih besar dan berlangsung lebih lama. Hal ini beresiko besar untuk mengakibatkan kerusakan organ dalam, bahkan kematian.^{5,6}

Sengatan listrik dapat menyebabkan kerusakan pada otot ekstremitas sebab ekstremitas paling sering kontak dengan arus listrik. Pada keadaan normal, otot ekstremitas membutuhkan sedikit sinyal listrik untuk proses kontraksinya, namun apabila arus listrik yang melaluinya semakin besar maka akan terjadi kontraksi yang hebat dan timbul tetani. Gambaran tetani pada jaringan otot secara mikroskopis adalah serabut otot yang tampak bergelombang (hiperkontraksi), serabut otot terputus/ ruptur, dan keluarnya eritrosit dari pembuluh darah (hiperemi). Selain itu, pada penelitian sebelumnya dikatakan bahwa terjadi perbedaan yang nyata pada derajat traumanya. Variasi luka juga termasuk jumlah total serat otot dan perubahan

hebat pada serat otot itu sendiri. Kerusakan pada otot ekstremitas akibat trauma sengatan listrik memiliki gambaran histopatologi yang khas dimulai dari proliferasi sarkolema otot (peningkatan jumlah inti sarkolema tiap-tiap serabut otot), kemudian terjadi penumpukan massa inti melebihi besar serabut otot itu sendiri, sampai terjadinya nekrosis otot yang difus dan luas dengan kerusakan pada retikulumnya. Perubahan patologi dapat juga ditandai dengan adanya noda basophilic pada sarkoplasma, pembentukan vakuola, dan penggumpalan sarkoplasma.^{7,8,9}

Pada penelitian pendahuluan yang peneliti lakukan dengan memberikan paparan arus listrik dosis maksimal (120 mA) pada tikus *Wistar*, kemudian melakukan pemeriksaan histopatologi, ternyata tidak diketemukan gambaran nekrosis sel otot setelah sengatan listrik, namun hanya didapatkan hiperkontraksi serabut otot, sehingga gambaran kerusakan histopatologi otot akan difokuskan kepada jumlah titik hiperkontraksi serabut otot yang terjadi.

Berdasarkan fakta-fakta di atas, maka penulis bermaksud mengadakan penelitian eksperimental untuk mengetahui seberapa besar korelasi antara besar arus listrik melalui medium air dengan kerusakan histopatologi otot gastroknemius yang berupa jumlah titik hiperkontraksi serabut otot. Penelitian ini menggunakan hewan coba tikus *Wistar* karena secara kode etik tidak mungkin melakukan eksperimen pada manusia dan karena sifat tikus *Wistar* homolog dengan manusia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini meliputi bidang Forensik, Patologi Anatomi, Fisika, dan Histologi. Penelitian dilakukan dalam selang waktu Maret-April 2010 di laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga Teknik Elektro UNDIP, laboratorium Patologi Anatomi FK UNDIP, laboratorium Biologi UNNES.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorik dengan desain penelitian *post test only control group* menggunakan tikus *Wistar* jantan sehat dengan berat badan 150-200 gram sebagai obyek penelitian. Perlakuan dalam penelitian ini

adalah pemberian arus listrik bertingkat pada tikus *Wistar* melalui medium air. Keluaran (outcome) yang dinilai adalah kerusakan histopatologi otot yang berupa jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar*.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah besar arus listrik bolak balik (AC). Pengukuran besar arus listrik AC menggunakan alat Ampemeter dengan satuan mili Ampere dalam skala ordinal. Variabel tergantung dalam penelitian ini adalah jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar* sebagai gambaran kerusakan histopatologi otot. Penghitungan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar* dengan menggunakan mikroskop cahaya BX 41 dalam skala interval.

Besar sampel berdasarkan kriteria WHO yaitu setiap kelompok terdiri minimal atas 5 sampel. Penelitian ini menggunakan 6 sampel untuk tiap kelompok. Terdapat 1 kelompok kontrol dan 4 kelompok perlakuan, jumlah sampel yang dibutuhkan adalah 30 sampel.

Adaptasi 30 ekor tikus *Wistar* jantan selama 7 hari di laboratorium dengan kandang tunggal dan diberi pakan standar serta minum secukupnya. Pada hari kedelapan, membagi tikus *Wistar* menjadi 5 kelompok yang masing-masing terdiri dari 6 ekor tikus *Wistar* yang dipilih secara acak. Setiap kelompok tikus *Wistar* diberi tanda dengan asam pikrat pada daerah yang berbeda yaitu kepala, punggung, ekor, dan kaki, kemudian ditimbang berat badannya. Memberikan paparan arus listrik melalui medium air selama 60 detik pada kelompok perlakuan 1, 2, 3, dan 4 dengan cara mencelupkan ujung konduktor ke dalam wadah kaca/ aquarium berukuran 20,5 x 19,5 x 14,5 sentimeter yang diisi air sumur artesis sebanyak 0,5 liter. Kelompok perlakuan 1 mendapatkan paparan arus listrik 1-30 mA, 50 Hz, kelompok perlakuan 2 mendapatkan paparan arus listrik 31-60 mA, 50 Hz, kelompok perlakuan 3 mendapatkan paparan arus listrik 61-90 mA, 50 Hz, dan kelompok perlakuan 4 mendapatkan paparan arus listrik 91-120 mA. Kelompok kontrol (kelompok 5) tidak mendapatkan paparan arus listrik. Mematikan hewan coba yang belum mati dengan

cara dekapitasi leher. Membuat irisan pada kulit betis ekstremitas tikus *Wistar* dengan menggunakan pisau. Memisahkan otot dari lapisan kulit, fasia, dan jaringan subkutan di atasnya. Kemudian mengambil setengah otot gastroknemius bagian bawah (*distal*). Sampel otot tersebut diletakkan pada tabung berisi cairan pengawet bufer formalin 10% dengan perbandingan 1 bagian otot dan 9 bagian bufer formalin 10%. Meletakkan tabung berisi sampel otot gastroknemius tikus *Wistar* ke rak tabung kemudian diserahkan ke analis guna mengolahnya mengikuti metode baku histologi dengan pewarnaan *Hematoxylin-Eosin*. Setiap sampel otot dibuat preparat dengan potongan *longitudinal*. Preparat tersebut akan dibaca oleh seorang dokter spesialis patologi anatomi dan peneliti. Pembacaan preparat dalam lima lapangan pandang dengan perbesaran 400x. Sasaran yang dibaca adalah jumlah titik hiperkontraksi serabut otot sebagai gambaran kerusakan histopatologi otot gastroknemius. Data pemeriksaan dicatat dalam formulir untuk kemudian dianalisa.

Data diolah dengan program SPSS 11.5 *for Windows* dan dilakukan uji normalitas. Untuk uji hipotesisnya dipergunakan uji korelasi *Spearman*.

HASIL PENELITIAN

Hasil pengamatan gambaran kerusakan otot gastroknemius tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik bertingkat melalui medium air dihitung berdasarkan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot yang terjadi menggunakan mikroskop. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil perhitungan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar* tiap kelompok

Kelompok paparan arus listrik	Jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius kiri-depan tiap kelompok
kontrol	77
1-30 mA	620
31-60 mA	1231
61-90 mA	1610
91-120 mA	2052

Tabel 2. Hasil perhitungan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar* tiap ekor

No.	Besar arus listrik	Jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius kiri-depan
1	kontrol	12
2	kontrol	14
3	kontrol	18
4	kontrol	8
5	kontrol	5
6	kontrol	20
7	1-30 mA	120
8	1-30 mA	97
9	1-30 mA	60
10	1-30 mA	64
11	1-30 mA	159
12	1-30 mA	120
13	31-60 mA	234
14	31-60 mA	211
15	31-60 mA	192
16	31-60 mA	154
17	31-60 mA	293
18	31-60 mA	147
19	61-90 mA	188
20	61-90 mA	112
21	61-90 mA	135
22	61-90 mA	386
23	61-90 mA	428
24	61-90 mA	361
25	91-120 mA	468
26	91-120 mA	165
27	91-120 mA	311
28	91-120 mA	435
29	91-120 mA	326
30	91-120 mA	347

Korelasi antara besar kuat arus listrik bolak balik melalui medium air dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot sebagai gambaran kerusakan otot gastroknemius tikus *Wistar* dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. Hasil korelasi antara besar kuat arus listrik bolak balik yang melalui medium air dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar*

Besar kuat arus listrik AC	Jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus <i>Wistar</i>	
	Rerata (mean)	simpang baku (standard deviasi)
Kontrol	12,83	5,742
1-30 mA	103,33	37,734
31-60 mA	205,17	54,323
61-90 mA	268,33	138,994
91-120 mA	342,00	106,861
<i>r</i>		0,852
<i>p</i>		0,000

*p**uji korelasi *Spearman*

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif yang bermakna dengan kekuatan korelasi yang sangat kuat antara besar kuat arus listrik bolak balik dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar*. Arti dari hasil tersebut adalah semakin besar kuat arus bolak balik yang diberikan, maka semakin banyak pula jumlah titik hiperkontraksi serabut otot yang akan terjadi. Jumlah titik hiperkontraksi serabut otot sendiri menggambarkan tingkat kerusakan otot gastroknemius tikus *Wistar*.

Hal ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa kerusakan jaringan tubuh sebanding dengan besar arus listrik. Semakin banyak jumlah arus listrik yang memasuki tubuh, semakin besar pula kerusakan yang ditimbulkan, terutama organ yang dilewati oleh arus listrik tersebut.^{7,8} Berdasarkan mekanisme utama trauma sengatan listrik, yaitu energi listrik menyebabkan kerusakan jaringan secara langsung, dimana otot gastroknemius sebagai jalur utama lewatnya arus listrik. Sel otot yang dialiri arus listrik akan mengalami depolarisasi, yang apabila berlangsung terus menerus dapat menimbulkan tetani otot.^{1,8} Otot ekstremitas pada keadaan normal membutuhkan sedikit sinyal listrik untuk kontraksi, namun apabila arus listrik yang

melaluinya makin besar dan melebihi ambang rangsang, maka akan terjadi hiperkontraksi dari serabut otot tersebut hingga timbul tetani otot.^{7,8,9} Kuat arus sebesar 16-20 mA sudah bisa menimbulkan tetani pada otot ekstremitas. Sengatan listrik AC menyebabkan kontraksi otot terus menerus (tetany) antara 40-110 kali per detik. Aliran listrik rumah tangga dengan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz mempunyai efek merangsang saraf dan otot sehingga terjadi kontraksi otot.^{10,11}

Otot rangka merupakan jaringan yang membawa arus listrik paling besar karena otot rangka memiliki proporsi volum yang paling besar dibandingkan jaringan lainnya.¹²

Penelitian oleh Puschel dan Brinkmann (1979) mengatakan bahwa pada pemeriksaan jaringan otot rangka dengan kasus kematian akibat sengatan listrik ditemukan hiperkontraksi serat otot, pepadatan pita z dan agregasi trombosit intravaskuler. Gambaran mikroskopis tersebut ternyata erat kaitannya dengan hubungan antara topografi jaringan dengan jalur arus yang melewatinya.¹³

Pada penelitian ini tidak ditemukan gambaran nekrosis sel otot, akan tetapi hanya ditemukan gambaran kerusakan histopatologi otot berupa titik-titik hiperkontraksi serabut otot karena sampel diambil segera setelah paparan arus listrik diberikan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Smith GT (1965) pada hewan coba anjing menggunakan tegangan 360 V, arus bolak balik secara kontak langsung, hasil biopsi menunjukkan gambaran hancurnya membran sarkoplasma yang merupakan tanda adanya nekrosis dari miofibril.¹⁴ Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan waktu pengamatan. Smith G melakukan pengamatan setelah 30 hari, yang menyebabkan sel-sel otot telah mengalami perubahan menetap pada sitoplasma dan intinya, sehingga penampakan nekrosis sel otot tampak jelas.¹⁴ Selain itu, pemberian paparan arus listrik yang besar dapat juga menyebabkan nekrosis sel otot.^{7,15}

Konduktivitas listrik sendiri dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain medium yang dilaluinya. Pada medium air, arus listrik yang melewatinya akan

menyebar merata ke semua bagian air, sehingga permukaan tempat masuknya arus listrik ke dalam tubuh pun menjadi sangat luas atau dapat dikatakan bahwa semua bagian tubuh yang terendam air dapat berfungsi sebagai jalur *entry point* arus listrik. Literatur menyebutkan bahwa air menyebabkan tahanan tubuh menjadi rendah karena besarnya tahanan pada tubuh tergantung dari banyak sedikitnya air, kelembaban, dan temperatur tubuh. Hal ini mengakibatkan arus listrik yang masuk akan menjadi lebih besar dan proses karbonisasi tidak terjadi sehingga arus listrik dapat mengalir terus menerus.¹⁶

SIMPULAN

Terdapat korelasi positif bermakna yang sangat kuat antara besar arus listrik bolak balik dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot gastroknemius tikus *Wistar*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar paparan arus listrik yang diberikan melalui medium air, maka jumlah titik hiperkontraksi serabut otot yang ditemukan juga makin banyak.

Jumlah titik hiperkontraksi serabut otot dapat menggambarkan kerusakan histopatologi otot rangka akibat paparan arus listrik.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kerusakan histopatologi akibat sengatan listrik menggunakan medium air dengan kadar garam yang bervariasi untuk melihat lebih jauh mengenai konduktivitas listrik pada medium air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan trima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala berkat, rahmat dan kemudahan yang diberikanNya.

2. Bapak Agus Saroni dan Ibunda Soelistyowati tercinta serta seluruh keluarga atas semangat dan dukungannya selama ini.
3. dr. Gatot Suharto, SH, Sp.F, M.Kes dan Dr. Arfi Syamsun, Sp.KF, dosen pembimbing karya tulis ilmiah utama dan kedua yang telah memberikan bimbingan kepada peneliti dengan penuh kesabaran, arif dan bijaksana.
4. dr. R.B.Bambang Witjahjo, M.Kes selaku reviewer proposal dan ketua penguji.
5. dr. Awal Prasetyo, M.Kes, Sp.THT-KI selaku penguji..
6. Seluruh staf Bagian Ilmu Kedokteran Forensik FK UNDIP.
7. Seluruh staf Bagian Ilmu Patologi Anatomi FK UNDIP.
8. Asisten laboratorium Biologi F-MIPA UNNES yang telah membantu pelaksanaan penelitian.
9. Asisten laboratorium Tenaga Listrik Elektro UNDIP yang telah membantu pelaksanaan penelitian.
10. Serta teman-teman satu tim dan semua pihak yang telah mendukung dan memberikan bantuan dalam menyelesaikan karya tulis ilmiah ini dari awal hingga akhir.

DAFTAR PUSTAKA

1. Knight B, Forensic Pathology. 2nd. London: Arnold; 1996, p. 319-32.
 2. Dimaio VJ, Dimaio Dominick. Forensic pathology. 2nd. Florida: CRC Press; 2001
 3. Cushing TA. Electrical injuries. [online] 2009 Oct 7 [cited 2009 Nov 15]; Available from: URL: <http://emedicine.medscape.com/article/770179-overview>
 4. Bockholdt B, Schneider V. Death by electrocution in the bathub. [serial online] 2003; Available from: URL:<http://www.medline.ru/public/sudm/a2/art3-2-2.phtml>
 5. Water properties. [online] 2009 May [cited 2009 Nov 15]; Available from: URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_water

6. Topper. Water and electrical conduction. [online] 2005 Jan 14 [cited 2009 Nov 15]; Available from: URL:
<http://www.newton.dep.anl.gov/askasci/gen01/gen01755.htm>
7. Dzhokic G, Jovchevska J, Dika A. Electrical Injuries: etiology, pathophysiology and mechanism. *Macedonian Journal of Medical Sciences* 2008;1: 54-8.
8. JD Brian. Electrical injuries. [online] 2008 June 12 [cited 2009 Nov 16]; Available from: URL:<http://emedicine.medscape.com/article/433682-overview>
9. FE Richard. Elctrical burns. [online] 2009 May 5[cited 2009 Nov 17]; Available from:<http://emedicine.medscape.com/article/1277496-overview>
10. Cameron JR, GS James. *Fisika tubuh manusia*. Jakarta: Sagung Seto; 2006, p.235-53.
11. Gabriel JF. *Fisika kedokteran*. Jakarta: EGC; 1996, p.201-75.
12. Lee RC, Zhang D, Hannig J. Biophysical injury mechanisms in electrical shock trauma. *Annu Rev Biomed Eng* 2000; 02: 477-509
13. Janssen W. *Forensic histopathology*. Berlin: Springer-Verlag; 1984, p. 270.
14. Smith GT, Beeuwkes R, Tomkmewicz ZM, Abe T, Lown B. Pathological changes in skin and skeletal muscle following alternating current and capacitor discharge. *The american journal of pathology* 1965;47: 1-17.
15. Kumar V, Cotran RS, Robbins, SL. *Robbins basic pathology*. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2007, p. 9-10.
16. Cooper MA, Price TG. *Electrical and lightning injuries*. Available at URL :
<http://www.uic.edu/labs/lightninginjury/Electr&Ltn.pdf>