

विद्युत का जीवविज्ञान

रामगोपाल (राम जी) वल्लत

मानव शरीर के काम करने में विद्युत क्या भूमिका निभाती है? स्कूल के दौरान सीखे जाने वाले विज्ञान में विद्युत की छानबीन एक विषय के रूप में भौतिकशास्त्र के अन्तर्गत की जाती है। रसायनशास्त्र में भी उसकी थोड़ी चर्चा होती है, लेकिन जीवविज्ञान में, विशेष रूप से जीवन को बनाए रखने में, विद्युत के महत्त्व को समझना भी आवश्यक है। यह लेख मानव शरीर की विभिन्न प्रक्रियाओं के काम करने में विद्युत की महत्त्वपूर्ण भूमिका की जाँच-पड़ताल करता है।

विकीपीडिया विद्युत को ऊर्जा के ऐसे रूप की तरह परिभाषित करता है जो आवेशित कणों (जैसे कि इलेक्ट्रॉन या प्रोटॉन) के मौजूद रहने के परिणामस्वरूप आवेश के पुंज की तरह स्थितिज रूप में या 'धारा' की तरह गतिज रूप में उत्पन्न होती है।

पिछली सदी में विद्युत और उसके उपयोगों ने समाज को रूपान्तरित कर दिया है। आज हर दिन के हर क्षण में हम अचेतन रूप से, विद्युत के सचेत बोध के बिना ही इसके द्वारा चलने वाले किसी न किसी उपकरण, औजार या मशीन का उपयोग करते रहते हैं। यदि हम बच्चों या बड़ों से किसी ऐसी चीज का नाम बताने के लिए कहें जो इस अद्भुत शक्ति द्वारा संचालित होती है, तो उनके लिए कम्प्यूटरों से लेकर रोशनी देने वाले बल्बों, मशीनों, रेफ्रिजरेटर, मोबाइल फोन इत्यादि तक तमाम चीजों को गिना देना बहुत आसान होगा। लेकिन मुझे सन्देह है कि उनमें से कोई भी संसार में विद्युत से संचालित होने वाली सबसे जटिल

मशीन का नाम लेगा। वास्तव में हम इस मशीन का अपने जीवन के हर क्षण उपयोग करते हैं। हाँ, मैं मानव शरीर की बात कर रहा हूँ।

मानव शरीर ही नहीं किसी भी जीवरूप का शरीर उन सबसे जटिल मशीनों में शुमार होगा जो विद्युत की शक्ति से संचालित होती हैं।

निश्चित ही मुझे विश्वास है कि एक बुनियादी तल पर, अधिकांश लोग यह जानते हैं कि शरीर में होने वाली हर क्रिया (दिल के धड़कने से लेकर, हमारे आसपास की चीजों को अनुभव करने तक, मस्तिष्क की जटिल संज्ञानात्मक कार्यप्रणाली से लेकर उस प्रेम के भाव तक जिसे हम अनुभव करते हैं) रासायनिक अभिक्रियाओं से ऊर्जा पाकर संचालित होती है। और हर रासायनिक क्रिया विद्युत आवेशों के आंशिक या पूर्ण आदान-प्रदान के कारण घटित होती है। यद्यपि अधिकांश बच्चे और अनेक बड़े भी सजग रूप से इसके बारे में नहीं सोचते। यह स्पष्ट है कि जीवन के निर्मित

प्रोटीनों के कुछ कार्य

1. कोशिकाओं में अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करना

वे प्रोटीन जो कोशिकाओं में रासायनिक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं, एन्जाइम कहलाते हैं। मानव शरीर में एन्जाइम विविध प्रकार की भूमिकाएँ निभाते हैं, उदाहरण के लिए वे भोजन के ज्यादा बड़े अणुओं को अधिक सरल अवयवों में तोड़ देते हैं, ताकि कोशिकाओं की झिल्लियों में से होकर उनका विसरण आसानी से हो सके। इन प्रोटीनों में शामिल हैं: ऐमीलेसिस जो कार्बोहाइड्रेट्स को पचाने में सहायक होते हैं; पेपसिन जो प्रोटीनों को पचाने में मदद करते हैं। अन्य प्रोटीन, जैसे कि डी.एन.ए. पॉलीमराज, कोशिकाओं के विभाजन के पहले डी.एन.ए. के नए सूत्रों का संश्लेषण करने में सहायता करते हैं।

2. संकेतों का उत्तर देना

कई प्रोटीन बाहरी संकेतों को पकड़ने और उनका उत्तर देने में मदद करते हैं। उदाहरण के लिए, ऐक्टिन तथा मायोसिन, मांसपेशियों के ऊतकों को सिकुड़ने या ढीला करने में मदद करते हैं।

3. रासायनिक संकेतों को पकड़ना और भेजना कुछ प्रोटीन संकेत देने वाले ऐसे अणुओं की तरह काम करते हैं जो क्रिया को उकसाने के लिए जरूरी जानकारी ले जाते हैं। इन्सुलिन ऐसा ही एक हार्मोन है जो खून में शक्कर के स्तर को नियंत्रित करने के लिए संकेत की तरह काम करता है। कोशिकाओं में पाए जाने वाले विभिन्न ग्राही अवयव इन संकेतों का उत्तर देते हैं।

4. संरचना प्रदान करना

कई कोशिकाओं की संरचना सूक्ष्म-तन्तुओं से मिलकर बनती है। ऐसे तन्तु स्वयं दो प्रोटीनों (ऐक्टिन तथा ट्यूबुलिन) से मिलकर बनते हैं।

5. कोशिकाओं की झिल्ली के आरपार पदार्थों का परिवहन करना

विभिन्न वाहिका प्रोटीन, आवश्यकता के अनुसार अणुओं और परमाणुओं के आवागमन के लिए खुलकर, उनको कोशिकाओं की झिल्ली में से होकर लाने-ले जाने में सहायक होते हैं। इस लेख में बाद में इसे विस्तार से बताया जाएगा।

6. श्वसन की गैसों का परिवहन करना

कुछ प्रोटीन श्वसन गैसों के साथ बँध जाते हैं और इस तरह वे उन्हें शरीर के विभिन्न अंगों में ले जाते हैं। उदाहरण के लिए, हीमोग्लोबिन रक्त का एक ऐसा जटिल प्रोटीन है जो फेफड़ों से आक्सीजन को ऊतकों तक ले जाता है।

7. शरीर की रोगों से रक्षा करना

विभिन्न प्रतिरक्षी (एण्टीबॉडी) प्रोटीन हमला करने वाले कीटाणुओं से शरीर की रक्षा करते हैं।

होने में भी विद्युतीय आवेश वैसी ही महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, जैसी कि वे समस्त पदार्थ की आधारभूत संरचना में निभाते हैं।

परन्तु उतने ही स्पष्ट वे तमाम तरीके नहीं हैं जिनके द्वारा विद्युत जीवन को बनाए रखती है। मैं इस लेख में इसके कुछ उदाहरणों की छानबीन करूँगा।

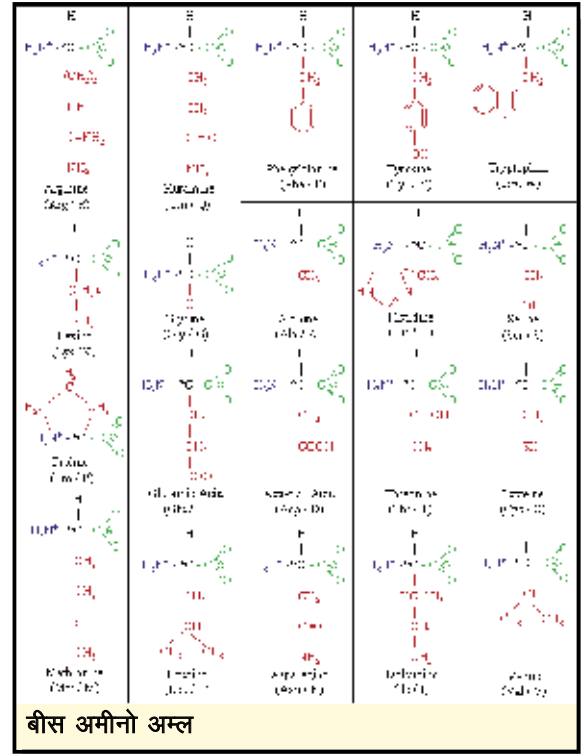
प्रोटीन – कोशिकीय परिश्रमी कामगार

शरीर में विद्युत द्वारा निर्भाई जाने वाली भूमिकाओं में एक जीवन के केन्द्रीय घटकों (विभिन्न प्रोटीन, जो कि कोशिकाओं के परिश्रमी कामगार होते हैं) की कार्यप्रणाली से सम्बन्धित है। हमारे शरीर में हजारों प्रोटीन होते हैं जो कोशिकाओं के स्तर पर हर क्षण, दिमाग को चकरा देने वाली विराट संख्या में विविध कार्य करते रहते हैं। इनमें से कुछ प्रमुख कार्य इस प्रकार हैं –

विद्युत और प्रोटीनों के आकार

प्रोटीनों में विद्युत स्पष्ट रूप से किस तरह महत्त्वपूर्ण होती है? प्रोटीन उनके बुनियादी घटक अणुओं (अमीनो अम्ल) के विविध संयोजनों से बनते हैं। मानव प्रोटीन बनाने वाले बीस अमीनो अम्ल में से प्रत्येक में ये अवयव होते हैं : एक अमीनो समूह (NH₂), एक कार्बोक्सिल समूह (COOH), एक केन्द्रीय कार्बन जो इन दो समूहों को जोड़ता है तथा एक परिवर्तनशील समूह (जिसे शाखा शृंखला – साइड चेन – भी कहते हैं) जो हर अमीनो अम्ल के लिए अलग-अलग होता है। दो अमीनो अम्ल एक सहसंयोजक बन्ध के माध्यम से आपस में जुड़ते हैं, जिसे पैप्टाइड बन्ध कहते हैं। यह एक अम्ल के अमीनो समूह और दूसरे अम्ल के कार्बोक्सिल समूह के बीच निर्मित होता है और इस प्रक्रिया में पानी का एक अणु निकल जाता है। पैप्टाइड बन्धों से जुड़े हुए ऐसे तीन या चार अमीनो अम्लों के गठजोड़ को पॉलीपैप्टाइड शृंखला कहा जाता है। ये पॉलीपैप्टाइड शृंखलाएँ ही प्रोटीनों को बनाने के लिए विशिष्ट त्रि-आयामी आकार धारण करती हैं। हर प्रोटीन अपने अनोखे आकार के कारण ही अपना विशेष कार्य करने

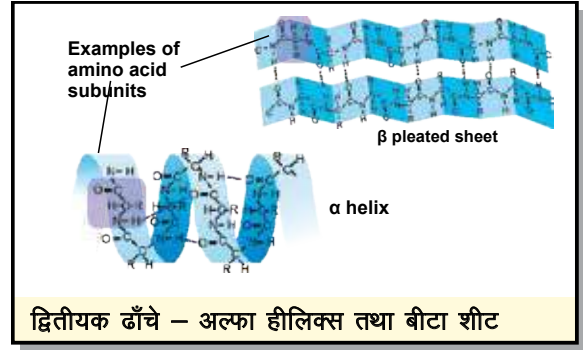
में समर्थ होता है। किसी प्रोटीन का सही-सही आकार उसको निर्मित करने वाली पॉलीपैप्टाइड शृंखलाओं में अमीनो अम्लों के सही-सही क्रम द्वारा निर्धारित होता है। एक प्रोटीन हजारों अमीनो अम्लों के संयोजन से निर्मित होता है। किसी एक भी अमीनो अम्ल में म्यूटेशन के कारण होने वाले परिवर्तन के फलस्वरूप उस प्रोटीन का आकार बदल सकता है, जो उसे उसका निर्धारित कार्य करने में या तो ज्यादा प्रभावकारी बना सकता है, या फिर पूरी तरह प्रभावहीन बना सकता है।



प्रोटीन के ढाँचे प्राथमिक, द्वितीयक, तृतीयक और कभी-कभी चतुर्थक प्रकार के होते हैं जो उनके आकार को निर्धारित करते हैं। किसी प्रोटीन का प्राथमिक ढाँचा बस उन अमीनो अम्लों का सिलसिला होता है जो मिलकर उसकी पॉलीपैप्टाइड शृंखला बनाते हैं। उसका द्वितीयक ढाँचा पॉलीपैप्टाइड शृंखला के एक टुकड़े के आकार का होता है। यह आमतौर पर एक कुण्डली (अल्फा कुण्डली) या एक मुड़कर बनी तहों वाली चादर (बीटा शीट – जो पॉलीपैप्टाइड शृंखलाओं की तहें बन जाने के कारण निर्मित होती है) के

स्वरूप का होता है। मुड़कर बनने वाली ये द्वितीयक तहें शृंखला में मौजूद एक अम्ल के धनात्मक विद्युत आवेश वाले हाइड्रोजन परमाणु और शृंखला के किसी दूसरे अमीनो अम्ल के एक ऋणात्मक विद्युत आवेश वाले परमाणु (आमतौर पर आक्सीजन) के बीच बन्ध बनने के कारण निर्मित होती हैं। शृंखला के इन दोनों हिस्सों के बीच में मौजूद स्थितिज विद्युतीय आकर्षण के कारण ऐसा होता है। द्वितीयक ढाँचे विभिन्न बलों (हाइड्रोजन बन्धों, अलग-अलग अमीनो अम्लों की शाखा शृंखलाओं के बीच बनने वाले आयनिक बन्धों, अलग-अलग शाखा शृंखलाओं में मौजूद सल्फर के परमाणुओं के बीच के डाइसल्फाइड बन्धों और वान डर वाल बलों) के कारण आगे चलकर तृतीयक ढाँचे बनाते हैं। अन्त में सम्पूर्ण ढाँचे को एक विशेष प्रक्रिया (हाइड्रोफोबिक पैकिंग) के द्वारा एक त्रि-आयामी आकार में ढाल दिया जाता है। ऐसा इस तथ्य के कारण घटित होता है क्योंकि कुछ अमीनो अम्लों की ऐसी ध्रुवीय शाखा शृंखलाएँ होती हैं जो हाइड्रोफिलिक (पानी के प्रति आकर्षित होने वाली) होती हैं, और कुछ अमीनो अम्लों की ऐसी गैर-ध्रुवीय शाखा शृंखलाएँ होती हैं जो हाइड्रोफोबिक (पानी से विकर्षित होने वाली) होती हैं। कोशिकाओं के भीतर के तथा कोशिकाओं के बाहर के जिन द्रवों में प्रोटीन रहते हैं, वे मुख्य रूप से पानी से बने होते हैं जिसकी प्रकृति विद्युतध्रुवीय होती है। इसी कारण प्रोटीन मुड़कर इस तरह से परतें बनाते हैं कि हाइड्रोफोबिक शाखा शृंखलाएँ द्रव से हटकर प्रोटीन के आन्तरिक भाग में चली जाती हैं। इससे हाइड्रोफिलिक शाखा शृंखलाएँ प्रोटीन के बाहर के हिस्से में आ जाती हैं और इस प्रकार प्रोटीन मुड़कर विशिष्ट स्वरूप वाले त्रि-आयामी आकार ग्रहण कर लेते हैं।

इसलिए, यह काफी स्पष्ट है कि कोशिकीय प्रोटीनों का आकार निर्धारित करने में, हाइड्रोजन बन्ध, आयनिक बन्ध तथा हाइड्रोफोबिक पैकिंग के रूप में स्थितिज विद्युतीय बल महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। प्रोटीनों के ये आकार उनके कामकाज के लिए तथा अन्ततः जीवन बनाए रखने के लिए अत्यन्त आवश्यक होते हैं।

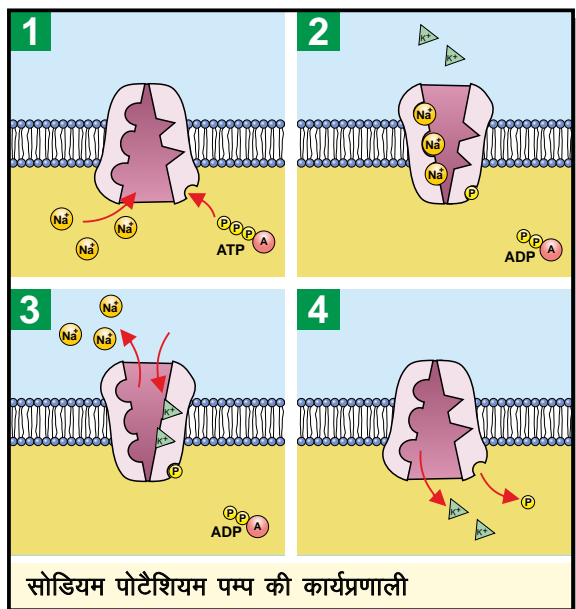


आयन प्रवाहिकाओं तथा झिल्ली के विभव में विद्युत

कोशिकाओं के कामकाज में विद्युत द्वारा एक अधिक प्रत्यक्ष भूमिका आयन प्रवाहिकाओं और झिल्लियों के विभवों की संयोजित क्रिया के माध्यम से निभाई जाती है।

शरीर की हर कोशिका अपने आन्तरिक और बाह्य हिस्से के बीच में, कोशिका झिल्ली के आरपार, एक विद्युतीय विभवान्तर बनाए रखती है, जिसे विश्रामावस्था का विभव कहते हैं। इसे कोशिका के भीतर और बाहर किसी विशेष आयन के सान्द्रणों में अन्तर के द्वारा बनाए रखा जाता है। कोशिका यह अन्तर कैसे बनाए रखती है? कुछ ऐसे प्रोटीन होते हैं जो झिल्ली पर फैले हुए सेतु बनाए रहते हैं और सक्रिय रूप से आयनों को झिल्ली के आरपार उनके सान्द्रण झुकाव के विपरीत धकेलते हैं, इन्हें आयन पम्प कहा जाता है। ये ही आयनों को निरन्तर कोशिका के अन्दर या बाहर पम्प करके कोशिका का विश्रामावस्था का विभव बनाए रखने में सहायक होते हैं। इसके अलावा, आयन प्रवाहिकाएँ कहलाने वाले अन्य प्रोटीन भी झिल्ली पर फैले रहते हैं जो उकसाए जाने पर खुल जाते हैं और निष्क्रिय रूप से अपने सान्द्रण झुकाव की दिशा में आयनों को बहने देते हैं। ये आयन प्रवाहिकाएँ केवल विशिष्ट आयनों को ही अपने में से गुजरने देती हैं। इन आयन प्रवाहिकाओं को निर्मित करने वाले प्रोटीनों के जटिल आकार यह सुनिश्चित करते हैं कि प्रत्येक प्रकार की आयन प्रवाहिका केवल चुने हुए खास आयन के प्रवाह के लिए ही खुली रहती है। जैसे कि मानव शरीर में पाई जाने वाली कुछ प्रमुख आयन प्रवाहिकाएँ सोडियम

प्रवाहिकाएँ, पोटैशियम प्रवाहिकाएँ, कैल्शियम प्रवाहिकाएँ तथा क्लोराइड प्रवाहिकाएँ होती हैं। विभिन्न कोशिकाओं के काम करने की प्रक्रिया में किसी जीवित कोशिका की झिल्ली के विभव के साथ काम करने वाली इन प्रवाहिकाओं की केन्द्रीय भूमिका होती है।

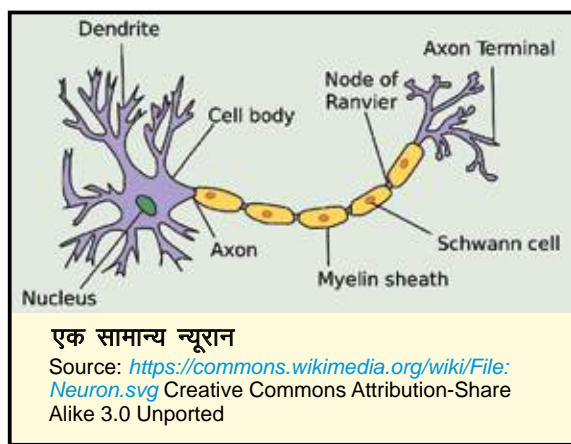


आइए सबसे पहले हम तंत्रिका कोशिकाओं को देखें। जब मैं माध्यमिक स्कूल का विद्यार्थी था, तो मुझे लगता था कि मनुष्य की तंत्रिका व्यवस्था, किसी विराट मशीन में लगे तारों के संजाल के समान होती है। जिसमें तंत्रिकाएँ, इलेक्ट्रानों के रूप में विद्युत संवेगों को लाने-ले जाने का काम करती हैं, जैसा कि एक सामान्य तार करता है। परन्तु तंत्रिकाओं के काम करने का तरीका ऐसा नहीं है।

तंत्रिकाएँ विद्युत के रूप में संकेत जरूर भेजती हैं, परन्तु ऐसा करने के लिए वे इलेक्ट्रानों का नहीं बल्कि आयनों का इस्तेमाल करती हैं। साथ ही, आयन कूट संकेतों में निहित संदेशों को लेकर पूरी तंत्रिका की यात्रा नहीं करते – वे किसी तंत्रिका कोशिका की झिल्ली के आरपार जाते हैं, जिसके कारण उसके झिल्ली विभव की ध्रुवीयता बदल जाती है। ध्रुवीयता का यह परिवर्तन एक्सन (जो कि एक कोशिका से निकलने वाला पतला, लम्बा

प्रक्षेपण होता है जो संकेतों को दूसरी कोशिकाओं तक ले जाता है) की पूरी लम्बाई में फैल जाता है। इस परिवर्तन के कारण ही एक विद्युत संकेत एक्सन की लम्बाई की यात्रा कर पाता है। और इस तरह तंत्रिका में संकेत भेजा जाता है।

हम देखें कि यह असल में कैसे काम करता है। सामान्य अवस्था में, एक तंत्रिका कोशिका अपने बाहर के परिवेश और अपने अन्दर के हिस्से के बीच 70 मिली वोल्ट (mV) का विभव अन्तर बनाए रखती है। यानी उसके अन्दर का भाग उसके बाह्य परिवेश की अपेक्षा -70 mV पर होता है। यह कोशिका का विश्रामावस्था का विभव होता है। इसे कोशिका के अन्दर और उसके बाहर के हिस्सों में सोडियम तथा पोटैशियम आयनों के असन्तुलन के द्वारा बरकरार रखा जाता है। जहाँ कोशिका के आन्तरिक भाग में, बाहर की तुलना में पोटैशियम आयनों (K^+) की अधिकता होती है, कोशिका के आन्तरिक भाग की अपेक्षा उसके बाहर के परिवेश में सोडियम आयनों (Na^+) की अधिकता होती है। परन्तु बाहर Na^+ की अधिकता का परिमाण, भीतरी भाग में K^+ की अधिकता के परिमाण की तुलना में बहुत ज्यादा होता है और इस कारण से कोशिका का विभव नकारात्मक होता है।



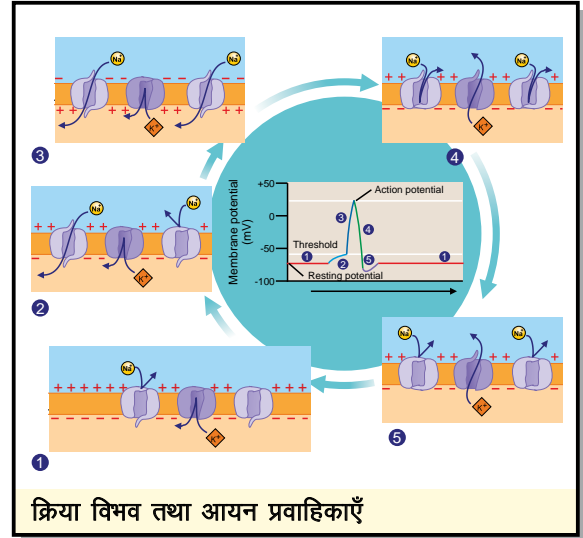
एक सामान्य न्यूरान

Source: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neuron.svg> Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported

एक न्यूरान में होने वाले छोटी शाखा जैसे विस्तार को डेन्ड्राइट कहते हैं। न्यूरान की कोशिका के मुख्य भाग (अर्थात सोमा) के चारों ओर फैले उसके अनेक डेन्ड्राइटों के माध्यम से ही वह न्यूरान संवेगों को प्राप्त करता है। ये डेन्ड्राइट संकेतों

को तंत्रिका संचारकों (न्यूरोट्रांसमिटर्स – जो कुछ रसायन होते हैं) के रूप में दूसरे न्यूरानों से या ऐन्ड्रिक कोशिकाओं (ज्ञानेन्द्रियों में स्थित विशेष कोशिकाएँ जो बाह्य जानकारी, जैसे कि रंग, ध्वनि आदि को विद्युत-रासायनिक संकेतों में परिवर्तित कर देती हैं) से प्राप्त करते हैं। ये तंत्रिका संचारक, झिल्ली पर फैली हुई एक विशेष प्रकार की आयन प्रवाहिका, जिन्हें संलग्नीय द्वार वाली प्रवाहिका कहते हैं, को खुलने के लिए प्रेरित करते हैं। इसके फलस्वरूप Na^+ आयन अपने सान्द्रण झुकाव के कारण कोशिका के अन्दर की ओर प्रवाहित होने लगते हैं, और K^+ आयन अपने सान्द्रण झुकाव के अनुरूप कोशिका से बाहर की ओर प्रवाहित होने लगते हैं। चूँकि Na^+ का सान्द्रण झुकाव अधिक होता है और वह अपने झुकाव में नीचे की ओर प्रवाहित होता है, इसलिए कोशिका से बाहर जाने वाले K^+ की तुलना में, उसके भीतर आने वाले Na^+ का प्रवाह अधिक होता है। तंत्रिका कोशिकाओं में इस तरह कुल मिलाकर होने वाले अधिक धनात्मक आयनों का प्रवाह उनके विभव को गिरा देता है – दूसरे शब्दों में कहें तो झिल्ली निधुवित (डिपोलेराइज) कर दी जाती है। एकबारगी जब कोशिका का मुख्य भाग (या सोमा) पर्याप्त रूप से निधुवित होकर -70mV से -50mV तक गिर जाता है, तो वह सोडियम आयन प्रवाहिकाओं को खुलने के लिए प्रेरित करता है जिनके द्वार का खुलना वोल्टेज पर निर्भर करता है – जैसे ही वोल्टेज -55mV की सीमा रेखा पर पहुँचता है, वे अपना द्वार खोल देते हैं। सोमा के सबसे नजदीक के एक्सनों पर स्थित वोल्टेज आधारित आयन प्रवाहिकाएँ सबसे पहले खुलती हैं क्योंकि वे -55mV के इस दहलीज के विभव पर सबसे पहले पहुँचती हैं। एक बारगी जब वे खुल जाती हैं तो सोडियम आयनों का एक बड़ा प्रवाह कोशिका के भीतर आ जाता है और वह उस क्षेत्र को पूरी तरह निधुवित करके $+30\text{mV}$ तक ले जाता है। यह उछाल जिसे क्रिया विभव कहते हैं, तेजी से एक्सन में आगे की ओर फैल जाता है, क्योंकि एक प्रवाहिका के खुलने के फलस्वरूप दूसरी प्रवाहिका इस दहलीज के विभव पर पहुँच जाती है और स्वयं खुलकर फिर अगली प्रवाहिका

को खुलने के लिए प्रेरित करती है। इस तरह एक डोमिनो (सिलसिलेवार) प्रभाव जैसी प्रक्रिया यहाँ काम करती है। Na^+ आयनों के एक बहुत संक्षिप्त प्रबल प्रवाह के बाद ये प्रवाहिकाएँ निष्क्रिय हो जाती हैं, जिसकी वजह से विभव का शिखर $+30\text{mV}$ पर रहता है।



इसके अलावा, पोटैशियम आयन प्रवाहिकाएँ भी होती हैं जो दहलीज विभव की सीमा पर पहुँचने पर खुलती हैं, लेकिन यह तुलनात्मक रूप से अधिक धीमी गति से होता है। एकबारगी जब वे खुलना आरम्भ कर देती हैं (यहाँ भी एक के बाद एक एक्सन की पूरी लम्बाई में फैलते हुए), तब पोटैशियम आयन तेजी से बाहर निकलते हैं, और एक्सन के उस क्षेत्र को फिर से ध्रुवीय बना देते हैं। इस तरह से वोल्टेज का एक उछाल एक्सन की पूरी लम्बाई में आगे की ओर फैल जाता है, और वह वापिस अपने विश्रामावस्था विभव पर पहुँच जाता है।

आयन प्रवाहिकाओं की भूमिका न्यूरान के भीतर संकेतों के संप्रेषण के साथ समाप्त नहीं हो जाती। एकबारगी, जब क्रिया विभव एक्सन के अन्त तक पहुँच जाता है, तब उसके कारण झिल्ली में स्थित वोल्टेज आधारित द्वार वाली कैल्शियम प्रवाहिकाएँ साइनेप्सिसों (साइनेप्सिस एक्सन के छोर पर बनी ऐसी संरचना होती है जो संकेत को दूसरी कोशिका को सौंपने के लिए इस्तेमाल की जाती

हैं) पर खुल जाती हैं, और उनसे होकर कैल्शियम आयनों की बाढ़ जैसी कोशिका के भीतर आ जाती है। फिर इन कैल्शियम आयनों के कारण तंत्रिका संचारकों से भरे साइनेप्टिक वेसीकल (वेसीकिल एक छोटा-से थैले जैसा होता है जो सम्बन्धित रसायन से भरा रहता है) कोशिका की झिल्ली में संलग्न हो जाते हैं और इस प्रक्रिया में अपनी सामग्री को साइनेप्टिक अन्तराल (वह बारीक फासला जो एक कोशिका के साइनेप्सिस और लक्ष्य कोशिका के ग्राही घटक के बीच होता है) में छोड़ देते हैं। तंत्रिका संचारक साइनेप्टिक अन्तराल में फैल जाते हैं और एक ग्राही घटक से – जो या तो किसी और न्यूरान वाली झिल्ली पर होता है तथा संकेत को और आगे इसी प्रकार सम्प्रेषित करता है, या मांसपेशी कोशिका जैसी किसी गैर-न्यूरानल कोशिका पर होता है।

पर सभी साइनेप्सिस रासायनिक तरीके से तंत्रिका संचारकों के माध्यम से संचालित नहीं होतीं। कुछ साइनेप्सिस ऐसी भी होती हैं जो विद्युतीय होती हैं। इन साइनेप्सिसों में, जिन्हें गैप जंक्शन (अन्तराल के जोड़) भी कहा जाता है, दो न्यूरान ऐसी आयन प्रवाहिकाओं के माध्यम से जोड़े जाते हैं जिन्हें कनेक्सन्स कहा जाता है। ये सीधे जोड़ रासायनिक साइनेप्सिसों की प्रणाली की तुलना में, एकसन् विभव का एक न्यूरान से दूसरे न्यूरान तक कहीं अधिक तेज गति से यात्रा करना सम्भव बनाते हैं। इस तरह विद्युतीय साइनेप्सिस या तो उन न्यूरानों में पाए जाते हैं जो अत्यन्त तीव्र गति की प्रतिवर्ती क्रियाओं (रिफ्लैक्स एक्शन) को प्रेरित करते हैं या जहाँ बड़ी संख्या में कोशिकाओं के एक ही समय पर साथ काम करने की आवश्यकता होती है।

उदाहरण के लिए, मांसपेशियों की कोशिकाओं में तंत्रिका संचारक ऐसीटिलकोलिन (जो एक साइनेप्सिस से वेसीकिल के द्वारा छोड़ा जाता है) ही वह अवयव होता है जो मांसपेशी तन्तु पर स्थित एक ऐसीटिलकोलिन ग्राही (एक अन्य प्रोटीन जो तंत्रिका संचारक से बन्धन बनाने के लिए एकदम अनुरूप आकार का होता है) को सक्रिय करता है और ग्राही में एक आयन प्रवाहिका को

खोल देता है तथा इस तरह सोडियम आयनों के बड़े प्रवाह को भीतर आने देता है। फिर यह मांसपेशी में एक विद्युतीय संवेग पैदा करता है, जिसके कारण कोई अंग संचालन की क्रिया होती है।

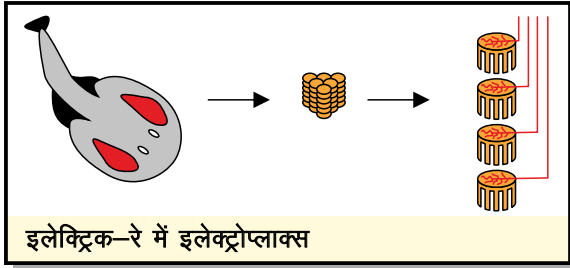
एक क्रिया विभव ठीक-ठीक किस तरह मांसपेशी के तन्तु को सिकुड़ने के लिए प्रेरित करता है? इसका उत्तर कई अन्य आयन प्रवाहिकाओं में निहित है।

विद्युत संवेगों के कारण कैल्शियम प्रवाहिकाएँ, जो रायनोडिन ग्राही कहलाती हैं, खुलती हैं। ये प्रवाहिकाएँ कोशिका के बाहर के हिस्से से नहीं जुड़तीं, बल्कि वे झिल्ली से बँधे कोशिका के भीतर के कैल्शियम आयनों के भण्डार से जुड़ती हैं, जिसे सैरकोप्लाज्मिक रैटीकुलम कहा जाता है। एकबारगी जब सायनोडिन प्रवाहिकाएँ खुल जाती हैं, तो कैल्शियम आयनों का भारी प्रवाह मांसपेशी तन्तुओं के भीतरी भाग में आ जाता है, जिसके फलस्वरूप वे सिकुड़ते हैं। जब कैल्शियम आयनों को वापिस इस भण्डार में पम्प कर दिया जाता है तो मांसपेशी ढीली हो जाती है। विद्युतीय तरीके से संचालित होने वाली यह मोटर कितनी बारीकी से बुनी गई और जटिल है!!

ईल मछलियाँ – प्राकृतिक विद्युत उत्पादक

विकास की प्रक्रिया ने कुछ प्राणियों के मांसपेशी तन्तुओं को इस तरह संशोधित किया है कि उनकी सिकुड़ने की क्षमता खो गई है, पर उसके बजाय वे अन्य भूमिकाएँ निभाने में सक्षम हो गए हैं। इसका एक उदाहरण विद्युतीय ईल मछली में देखा जा सकता है, जिसने संशोधित मांसपेशी तन्तुओं का उपयोग करके एक अत्यन्त प्रभावशाली विद्युतीय झटका उत्पादक तंत्र विकसित कर लिया है। यह प्राणी 500 वोल्ट से भी अधिक का विद्युतीय झटका और लगभग एक एम्पीयर की विद्युतीय धारा उत्पन्न कर सकता है – जो कि आधा किलोवाट विद्युत शक्ति के बराबर है। यह झटका एक मनुष्य को मार भी सकता है। इलेक्ट्रिक-रे मछली भी इसी से मिलते-जुलते तरीके से विद्युत पैदा करती है।

विद्युत ईलों की लम्बाई दो से लेकर ढाई मीटर तक भी बढ़ सकती है। उनके शरीर का लगभग 80 प्रतिशत भाग विद्युत बैटरी समूहों के समतुल्य काम करने वाले जैविक तंत्रों के लिए समर्पित रहता है। ऐसे हर तंत्र समूह में दोनों तरफ पतली प्लेट के जैसे संशोधित मांसपेशी कोशिकाओं के लगभग 70 लम्बे खम्भे होते हैं जो इलेक्ट्रोप्लाक्स कहलाते हैं। हर खम्भे में सिलसिले से जमी हुई लगभग 5000-10000 ऐसी कोशिकाएँ होती हैं।



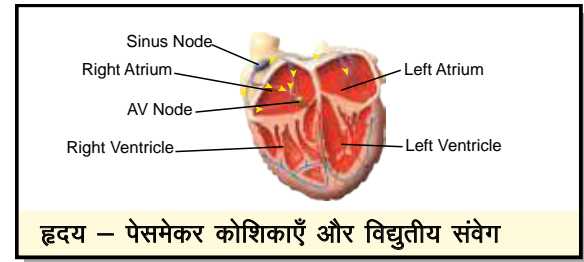
इन कोशिकाओं में से प्रत्येक का एक पक्ष तंत्रिका के सिरे से जुड़ा रहता है। सामान्यतया कोशिका के दोनों पक्षों के बीच कोई विभव अन्तर नहीं होता। जब यह मछली अपने विद्युतीय हथियार को सक्रिय करती है, तो वह प्रत्येक कोशिका की तंत्रिका में एक संवेग को जारी कर देता है। यह संवेग प्रत्येक इलेक्ट्रोप्लाक पर एक मांसपेशी क्रिया विभव को सक्रिय कर देता है, लेकिन ऐसा सिर्फ उस हिस्से में होता है जो तंत्रिकाओं से जुड़ा रहता है। इससे कोशिका के दोनों पक्षों के बीच लगभग 150mV का विभव अन्तर पैदा हो जाता है। चूँकि यह एक साथ सभी कोशिकाओं में होता है, और चूँकि हर खम्भे की कोशिकाएँ श्रेणीबद्ध तरीके से जुड़कर काम करती हैं, इसलिए ईल के शरीर में सबके योगदान को मिलाकर समग्र रूप से 500 वोल्ट तक का वोल्टेज निर्मित हो जाता है। यदि इस हथियार को लगातार इस्तेमाल किया जाता है तो कोशिका के भीतर बाढ़ की तरह आने वाले सोडियम आयनों को फिर से बाहर पम्प किए जाने का समय नहीं मिलता। इसके फलस्वरूप क्रिया विभव और वोल्टेज तब तक लगातार गिरता जाता है जब तक कि बैटरी पूरी तरह आवेशरहित नहीं हो जाती।

विद्युतीय तरीके से नियोजित दिल की धड़कन

अत्यन्त ही सटीक और विद्युतीय शक्ति से संचालित होने वाली एक और ताकतवर मशीन मनुष्य का हृदय है – यह दिन में लगभग 1,00,000 बार धड़कता है। जब तक यह जीवित रहता है तब तक कभी भी नहीं रुकता। इसे एक क्रिया विभव के रूप में विद्युतीय शक्ति मिलती है जो दाहिने ऐट्रियम की दीवार में स्थित पेसमेकर कोशिकाओं में पैदा की जाती है।

हृदय में खून ऊपर के कक्षों (ऐट्रिया) से होकर प्रवेश करता है। फिर यह संकुचन के द्वारा रक्त को हृदय के अपेक्षाकृत बड़े निचले कक्षों (वैन्ट्रीकिल्स) में धकेलता है। फिर लगभग आधा सेकेण्ड बाद वैन्ट्रीकिल्स सिकुड़ते हैं और इस प्रक्रिया के द्वारा खून को बाहर पम्प करते हैं, बाएँ वैन्ट्रीकिल शरीर में और दाएँ वैन्ट्रीकिल फेफड़ों में भेजते हैं।

हृदय के उचित और सक्षम ढंग से काम करने के लिए यह बहुत जरूरी है कि सभी संकुचनशील कोशिकाओं के समवेत ढंग से एक साथ सिकुड़ने के द्वारा इन संकुचनों की लय बरकरार रखी जाए।



हृदय – पेसमेकर कोशिकाएँ और विद्युतीय संवेग

हृदय की लय को संचालित करने वाली पेसमेकर कोशिकाओं को सामूहिक रूप से साइनो-ऐट्रियल नोड कहा जाता है। हृदय को उत्प्रेरित करने वाले विद्युतीय संवेग की शुरुआत सोडियम आयन प्रवाहिकाओं के द्वारा की जाती है। यह झिल्ली के विभव को उलट देता है और फिर वह इन कोशिकाओं के भीतर स्थित कैल्शियम आयन प्रवाहिकाओं को खोल देता है, जिससे कैल्शियम आयनों की बाढ़ बाहर से कोशिकाओं के भीतर आ जाती है। फिर ये आयन अन्य कैल्शियम

प्रवाहिकाओं को खोल देते हैं जिसके परिणामस्वरूप कोशिकाओं के आन्तरिक भण्डार में से बड़ी तादाद में कैल्शियम आयन छोड़े जाते हैं। ये कैल्शियम आयन संकुचनशील प्रोटीनों से क्रिया करते हैं और हृदय की मांसपेशियों को सिकुड़ने के लिए बाध्य करते हैं। यहाँ कैल्शियम की प्रवाहिकाओं के होने का लाभ यह है कि सोडियम प्रवाहिकाओं के विपरीत वे तब तक खुली रहती हैं जब तक कि झिल्ली का विभव धनात्मक रहता है। चूँकि क्रिया विभव आधा सेकेण्ड के लगभग रहता है, इसलिए कैल्शियम प्रवाहिकाएँ यह सुनिश्चित करने में सहायक होती हैं कि उसके परिणामस्वरूप उत्पन्न होने वाला मांसपेशियों का संकुचन उससे ज्यादा समय तक चले। अब पोटैशियम प्रवाहिकाएँ खुलती हैं और कोशिका को फिर से ध्रुवीय बनाती हैं तथा कैल्शियम प्रवाहिकाओं को बन्द करती हैं। ये पोटैशियम प्रवाहिकाएँ, तंत्रिका कोशिकाओं की पोटैशियम प्रवाहिकाओं की अपेक्षा और भी धीरे-धीरे खुलती हैं तथा इस तरह हृदय के क्रिया विभव को कार्य करने के लिए आवश्यक समय प्रदान करती हैं।

प्रत्येक संवेग पेसमेकर कोशिकाओं से पहले ऐट्रियो-वैन्ट्रीकुलर कोशिकाओं (जो ऐट्रिया तथा वैन्ट्रीकिल्स के बीच में स्थित होती हैं) तक जाता है और फिर वैन्ट्रीकिल्स के चारों ओर की कोशिकाओं में जाता है। इससे यह सुनिश्चित होता कि पहले ऐट्रिया और फिर वैन्ट्रीकिल्स क्रम से सिकुड़ते हैं, इसी के परिणामस्वरूप दिल के धड़कने की सुपरिचित 'धक-धक' लय पैदा होती है।

जैसा कि आप देख सकते हैं, हृदय एक बारीकी से गढ़ा गया और समय के अन्तरालों में नियंत्रित, जटिल और शक्तिशाली स्वचालित विद्युत पम्प है।

हमारी प्रत्येक संवेदन इन्द्रि क्रिया विभव तथा आयन प्रवाहिकाओं को सक्रिय करने के माध्यम से संसार का अनुभव करती है। रैटीना (आँख का परदा) में यह सोडियम तथा कैल्शियम आयन प्रवाहिकाओं के जटिल झरने जैसी प्रक्रिया के कारण होता है। कानों में कोक्लिया में स्थित

बालों की संवेदी कोशिकाओं की यांत्रिक हलचल ही उन आयन प्रवाहिकाओं को खोलती है जिनके परिणामस्वरूप क्रिया विभव उत्पन्न होता है। स्वाद कलिकाओं (टेस्ट बड्स) की अपनी आयन प्रवाहिकाएँ होती हैं जो तब अपना क्रिया विभव उत्पन्न करती हैं जब पाँच बुनियादी स्वाद – मीठा, नमकीन, खट्टा, कड़वा और युमामी (umami) – अनुभव किए जाते हैं। हमारी नाक में लगभग 350 विभिन्न प्रकार के ग्राही घटक होते हैं। जिस अणु को सूँघा जा रहा है उस पर निर्भर करते हुए इनमें से अनेक सक्रिय हो जाते हैं। इसके फलस्वरूप सक्रिय की गई कोशिकाओं के हजारों संयोजन, जिनमें से हर संयोजन के कारण एक अलग गंध का अनुभव होता है, हमें गंधों की बारीक भेदों वाली समझ निर्मित करने में समर्थ बनाते हैं। ऐसा अणुओं के ऑलफैक्टरी (घ्राण सम्बन्धी) कोशिकाओं के ग्राही अंगों के साथ जुड़ जाने के माध्यम से होता है। इसके फलस्वरूप विशेष आयन प्रवाहिकाएँ खुल जाती हैं जो ऑलफैक्टरी न्यूरानों में क्रिया विभवों को सक्रिय कर देती हैं। हमारी त्वचा में भी यांत्रिक रूप से संवेदनशील आयन प्रवाहिकाएँ होती हैं जो छुए जाने पर क्रिया विभव को सक्रिय कर देती हैं।

मस्तिष्क – विद्युतीय ढंग से संचालित केन्द्रीय प्रसंस्करण इकाई (सेंट्रल प्रोसेसिंग यूनिट)

हमारे शरीर के सभी अंगों में से मस्तिष्क सबसे जटिल विद्युतीय-रासायनिक रूप से क्रियाशील अंग होता है। अन्ततः ये सारे संकेत वही जाते हैं। इसमें एक अरब से भी अधिक तंत्रिका कोशिकाएँ होती हैं और उनमें से प्रत्येक अन्य हजारों कोशिकाओं से जुड़ी रहती है, जिसके फलस्वरूप खरबों जोड़ बन जाते हैं।

मस्तिष्क के अलग-अलग भाग अलग-अलग क्रियाओं को नियंत्रित करने के लिए समर्पित रहते हैं। यह हम कैसे जानते हैं? पूरे मस्तिष्क में समग्र रूप से होने वाली और उसके विभिन्न भागों में अलग-अलग होने वाली विद्युतीय गतिविधि का अनुसरण करने के द्वारा, हमने मस्तिष्क के काम

करने की प्रणाली के बारे में महत्वपूर्ण अन्तर्दृष्टियाँ हासिल की हैं। अब मस्तिष्क के अवलोकन (ब्रेन स्कैनिंग) के ऐसे विभिन्न तरीके उपलब्ध हैं जिनका उपयोग प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से मस्तिष्क में होने वाली विद्युतीय गतिविधि को मापने और रिकार्ड करने के लिए किया जाता है। ऐसा एक तरीका इलेक्ट्रो-एनसेफेलोग्राम या ई.ई.जी. है। ई.ई.जी. में मस्तिष्क में होने वाली विद्युतीय गतिविधि के बारे में सूचनाओं को पकड़कर मस्तिष्क की तरंगों को रिकार्ड किया जाता है। चूँकि ई.ई.जी. मस्तिष्क में स्थित सभी न्यूरॉन्स की सामूहिक और समग्र गतिविधि दर्शाता है, इसलिए इसकी उपयोगिता सीमित है। पर अलग-अलग गतिविधियों और कार्यों के लिए जिम्मेदार मस्तिष्क के अलग-अलग हिस्सों की पहचान करने में एफ.एम.आर.आई. यानी फंक्शनल मैग्नेटिक रैजोनेन्स इमेजिंग (कार्याधारित चुम्बकीय अनुनादी छवि अंकन) विधि कहीं अधिक कारगर होती है। यह विधि मस्तिष्क के विभिन्न क्षेत्रों में होने वाले रक्त के प्रवाह को नापती है जो कि विद्युतीय गतिविधि का एक सूचक होता है। जब सम्बन्धित व्यक्ति से विभिन्न प्रश्न पूछे जाते हैं, या जब उससे अलग-अलग गतिविधियाँ (जैसे सोना, बात करना, सुनना या हाथ-पैरों का इस्तेमाल करना, विभिन्न तस्वीरों को देखना आदि) करवाई जाती हैं, तब उसके मस्तिष्क के अलग-अलग भागों में होने वाली गतिविधि का मानचित्रण करके, वैज्ञानिकों ने विभिन्न क्रियाओं, विचारों और भावनाओं के लिए जिम्मेदार मस्तिष्क के अलग-अलग क्षेत्रों की पहचान करने में सफलता पाई है।

मैं मस्तिष्क की कार्यप्रणाली में और गहराई में नहीं जाऊँगा, क्योंकि उसके लिए अलग से एक पूरी किताब की जरूरत होगी। पर इतना कहना काफी है कि मस्तिष्क की जटिल कार्यप्रणाली को समझने की यात्रा में हम अभी भी प्रारम्भिक अवस्था में ही हैं।

शरीर तथा उसके अंगों के विकास और उनके आकार को निर्धारित करना

अन्त में मैं जैव-विद्युत (बायो-इलेक्ट्रिसिटी) के क्षेत्र में हो रहे सबसे नए शोधकार्य का संक्षिप्त उल्लेख करना चाहूँगा। यह बहुत ही महत्वपूर्ण है। हाल के अध्ययनों से ऐसे संकेत मिलते हैं कि कोशिकाओं के एक समूह के विश्रामावस्था विभव को परिवर्तित करना अंगों के विकास को प्रेरित कर सकता है। वैज्ञानिकों ने टैडपोलों और मेंढकों की परिपक्व कोशिकाओं के समूहों के कोशिका विभवों को परिवर्तित करके उनमें नए अंग और हाथ-पैर विकसित किए हैं। यह सम्भव प्रतीत होता है कि कोशिकाओं के विभवों का स्वरूप ही संकेतों के द्वारा अंगों और हाथ-पैर के त्रि-आयामी विकास को प्रेरित करता है और यह सुनिश्चित करता है कि अंग उपयुक्त परिमाणों और आकारों में विकसित हों। अंगों के पुनरुत्पादन के चिकित्सा विज्ञान के लिए इस बात के बहुत महत्वपूर्ण निहितार्थ हैं, क्योंकि शल्य क्रिया द्वारा शरीर के काटे जा चुके अंगों को तब सम्भावित रूप से, उनके छोर की कोशिकाओं के विभव को परिवर्तित करके, फिर से विकसित किया जा सकेगा। कोशिका विभव को आनुवंशिक विधि से ऐसी नई आयन प्रवाहिकाओं को निर्मित करके परिवर्तित किया जा सकता है जो कोशिका के भीतर और उसके बाहर के आयनों के सन्तुलन को बदल देती हों।

निष्कर्ष

जैसे-जैसे हम जैव-विद्युत के क्षेत्र में तथा जीवविज्ञान के क्षेत्र में प्रतिदिन नई समझ प्राप्त कर रहे हैं, विशेष रूप से मानव शरीर में विद्युत की भूमिका के बारे में, हमारी समझ में भी विस्फोटक गति से प्रगति हो रही है। इसलिए मुझे विश्वास है कि मानव शरीर को विद्युत से संचालित होने वाली संसार की सबसे जटिल मशीन कहने पर कोई हमें गलत नहीं ठहरा सकता।

Reference

1. It's Electric: Biologists Seek to Crack Cell's Bioelectric Code. Daisy Yuhas. Scientific American, March 27, 2013. URL: <http://www.scientificamerican.com/article/bioelectric-code/>
2. Harnessing the Bioelectric Potential of Cells for Regeneration - An interview with Michael Levin Ph.D., Professor, Department of Biology and Director, Tufts Center for Regenerative and Developmental Biology. Yvonne Stapp. Science for the public, February 21st, 2012 <https://www.youtube.com/watch?v=YVY1kNAAqsE>
3. The Spark of Life. Frances Ashcroft. ISBN-10: 039334679X



रामगोपाल (राम जी) वल्लत सबसे ज्यादा बिकने वाली विज्ञान कथाओं के लेखक और विज्ञान के प्रति उत्साह जगाने वाले व्यक्ति हैं। अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय में अपने काम के अलावा वे एक टेक्नोलोजी स्टार्ट अप में भागीदार भी हैं। वे माध्यमिक स्कूल के बच्चों के लिए विज्ञान कार्यशालाएँ और हाईस्कूल विद्यार्थियों के लिए प्रेरक कार्यशालाएँ भी संचालित करते हैं। उनकी सार्वजनिक प्रोफाइल है ramgvallath.com, ट्विटर आईडी है [@ramgvallath](https://twitter.com/ramgvallath), और ईमेल आईडी है ramgopal.vallath@gmail.com **अनुवाद** : सत्येन्द्र त्रिपाठी