DA ELETRICIDADE CELULAR À AVALIAÇÃO FUNCIONAL: O LEGADO DE NEHER E SAKMANN E SUA RELEVÂNCIA METODOLÓGICA PARA O BIOSPECTRA

Denise C. Braga

RESUMO

O desenvolvimento da eletrofisiologia celular demonstrou que sistemas biológicos podem ser investigados não apenas por sua composição química e estrutural, mas também por propriedades físicas e elétricas mensuráveis. O presente artigo, de natureza narrativa e conceitual, discute o legado de Erwin Neher e Bert Sakmann, laureados com o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1991 por descobertas relacionadas à função de canais iônicos individuais nas células. A partir dos trabalhos que culminaram no desenvolvimento e aperfeiçoamento da técnica de patch-clamp, examina-se a transição entre a observação estrutural e a análise funcional, a relevância das correntes iônicas para a fisiologia, o valor informacional de pequenas amostras biológicas e os limites de extrapolação desses achados para outras metodologias. Argumenta-se que a principal contribuição desse legado para tecnologias contemporâneas de avaliação biofísica, incluindo o BioSpectra, é de ordem metodológica: uma tecnologia deve explicitar a propriedade mensurável, o sinal produzido, o processamento empregado, a repetibilidade, a correlação com fenômenos biológicos e a comparação com métodos de referência. O Nobel de 1991 não valida sistemas diagnósticos por frequências nem análises capilares específicas; oferece, contudo, um modelo rigoroso de como fenômenos físicos de sistemas vivos podem ser transformados em sinais mensuráveis e cientificamente investigáveis.

Palavras-chave: biofísica; eletrofisiologia; canais iônicos; patch-clamp; avaliação funcional; BioSpectra; validação.

ABSTRACT

The development of cellular electrophysiology demonstrated that biological systems can be investigated not only through their chemical and structural composition, but also through measurable physical and electrical properties. This narrative and conceptual article discusses the legacy of Erwin Neher and Bert Sakmann, awarded the 1991 Nobel Prize in Physiology or Medicine for discoveries concerning the function of single ion channels in cells. Based on the studies that led to the development and refinement of the patch-clamp technique, the article examines the transition from structural observation to functional analysis, the physiological relevance of ionic currents, the informational value of small biological samples, and the limits of extrapolating these findings to other methodologies. It is argued that the main contribution of this legacy to contemporary biophysical assessment technologies, including BioSpectra, is methodological: a technology must define the measurable property, the acquired signal, signal processing, repeatability, correlation with biological phenomena, and comparison with reference methods. The 1991 Nobel Prize does not validate frequency-based diagnostic systems or specific hair-analysis technologies; however, it provides a rigorous model of how physical phenomena in living systems can be converted into measurable and scientifically testable signals.

Keywords: biophysics; electrophysiology; ion channels; patch-clamp; functional assessment; BioSpectra; validation.

1 INTRODUÇÃO

Durante grande parte da história das ciências biomédicas, a investigação do organismo humano concentrou-se na identificação de estruturas, substâncias e alterações morfológicas. O avanço da biofísica e da eletrofisiologia ampliou esse horizonte ao demonstrar que sistemas vivos apresentam, além de composição química, propriedades físicas e elétricas passíveis de mensuração direta.

Um dos marcos dessa transformação foi o trabalho de Erwin Neher e Bert Sakmann. Em 1991, os pesquisadores receberam oficialmente o Prêmio Nobel de Fisiologia ou

Medicina, e não um prêmio denominado “Nobel de Biofísica”, por suas descobertas relacionadas à função de canais iônicos individuais nas células (THE NOBEL PRIZE, 1991). A distinção terminológica é relevante: o reconhecimento foi concedido na categoria de Fisiologia ou Medicina, embora o trabalho constitua um marco da biofísica celular e da eletrofisiologia.

Em 1976, Neher e Sakmann publicaram na revista Nature um estudo no qual registraram correntes associadas a canais individuais em membranas de fibras musculares desnervadas de rã (NEHER; SAKMANN, 1976). O feito abriu caminho para o desenvolvimento da técnica de patch-clamp e para uma forma de investigação capaz de observar diretamente o comportamento funcional de estruturas moleculares de membrana.

A relevância desse episódio ultrapassa a história da eletrofisiologia. Ele oferece um modelo epistemológico para tecnologias de avaliação funcional: identificar uma propriedade física do sistema biológico, medi-la de forma reproduzível, relacioná-la a um mecanismo fisiológico e validar a interpretação produzida. Este artigo discute esse legado e analisa de que maneira ele pode orientar, de forma metodologicamente responsável, o desenvolvimento e a validação de tecnologias contemporâneas de avaliação biofísica, incluindo o BioSpectra.

2 BIOELETRICIDADE CELULAR E CANAIS IÔNICOS

Toda célula viva mantém uma interação contínua entre processos químicos, elétricos e físicos. A membrana plasmática separa os meios intracelular e extracelular e contém proteínas especializadas, entre elas os canais iônicos, que permitem a passagem seletiva de partículas eletricamente carregadas.

Entre os principais íons envolvidos na fisiologia celular destacam-se sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e cloreto (Cl^-). A movimentação dessas espécies através da membrana gera correntes elétricas e participa da formação e modulação dos potenciais de membrana.

Esses fenômenos são essenciais à transmissão de sinais nervosos, à contração muscular, à secreção, à excitabilidade celular e a inúmeros mecanismos regulatórios. A Fundação Nobel destaca que o trânsito de íons através das membranas é fundamental para a transferência de sinais em nervos e músculos (THE NOBEL PRIZE, 1991).

Assim, a bioeletricidade não constitui uma metáfora. Trata-se de um conjunto de fenômenos físicos mensuráveis, expressos por grandezas como corrente elétrica, potencial, resistência, condutância e capacitância, sempre vinculadas a condições experimentais definidas.

3 O MARCO EXPERIMENTAL DE NEHER E SAKMANN

O estudo publicado por Neher e Sakmann em 1976 demonstrou que era possível registrar eventos de corrente associados a canais individuais de membrana, superando a limitação de análises que observavam apenas o comportamento médio de grandes populações de canais (NEHER; SAKMANN, 1976).

O princípio experimental que posteriormente se consolidou como patch-clamp utiliza uma micropipeta de vidro posicionada sobre uma pequena região da membrana celular. Ao se estabelecer uma vedação elétrica de alta resistência entre a pipeta e a membrana, torna-se possível isolar uma pequena área e registrar correntes extremamente pequenas geradas pela abertura e pelo fechamento de canais presentes naquele fragmento.

O método foi posteriormente aperfeiçoado. A descrição de configurações de alta resolução para células e fragmentos de membrana, incluindo whole-cell, inside-out e outside-out, foi sistematizada por Hamill e colaboradores em 1981 (HAMILL et al., 1981). Esses avanços permitiram estudar canais em contextos distintos e investigar como seu comportamento se modifica em resposta à voltagem, ligantes, composição iônica e outras condições experimentais.

Em termos conceituais, o canal pode ser compreendido como uma estrutura cuja abertura ou fechamento altera a passagem de íons e, consequentemente, a corrente registrada. O valor científico do método não está apenas na detecção de eletricidade, mas na relação demonstrável entre um evento físico mensurável e uma função biológica específica.

4 DA ANÁLISE ESTRUTURAL À AVALIAÇÃO FUNCIONAL

O trabalho de Neher e Sakmann evidencia uma distinção importante entre identificar uma estrutura e investigar como ela funciona. A pergunta científica deixa de ser apenas “o que existe?” e passa a incluir “como essa estrutura se comporta em determinadas condições?”.

Uma avaliação estrutural busca descrever características morfológicas e organizacionais de células, tecidos, fibras, proteínas ou outras estruturas. Uma avaliação bioquímica busca identificar ou quantificar substâncias, como glicose, hormônios, enzimas, eletrólitos, ferritina e metabólitos. A avaliação funcional ou biofísica, por sua vez, pode investigar propriedades como atividade elétrica, potenciais de membrana, condutância iônica, resposta a estímulos e outros fenômenos físicos mensuráveis.

Essas abordagens não são mutuamente excludentes. Pelo contrário, respondem a perguntas diferentes e podem ser complementares. O patch-clamp é um exemplo

paradigmático porque transforma o comportamento funcional de canais iônicos em um registro quantitativo diretamente relacionado à fisiologia da membrana.

5 AMOSTRAS BIOLÓGICAS E INFORMAÇÃO SOBRE O SISTEMA DE ORIGEM

Os experimentos com fragmentos isolados de membrana demonstraram que pequenas porções de material biológico podem conservar propriedades funcionais investigáveis. Nas configurações inside-out e outside-out, fragmentos da membrana são manipulados de modo a expor diferentes faces ao meio experimental, mantendo canais capazes de responder a condições controladas.

Esse princípio encontra paralelo em diversas áreas da medicina laboratorial. O sangue pode fornecer informações metabólicas e hematológicas; a saliva pode conter hormônios, anticorpos, DNA e outros biomarcadores; a urina pode refletir processos renais e metabólicos; tecidos podem ser utilizados em análises histológicas e moleculares; e o cabelo pode conservar elementos químicos e compostos incorporados à matriz capilar, além de características estruturais.

Entretanto, o fato de uma amostra carregar informação não autoriza qualquer interpretação sobre o organismo. O tipo de informação que pode ser extraído depende da propriedade efetivamente medida, da qualidade da amostra, do método analítico, do processamento do sinal, da repetibilidade, da especificidade e da validação em relação ao fenômeno biológico que se pretende representar.

6 LIMITES DE EXTRAPOLAÇÃO: BIOFÍSICA NÃO É SINÔNIMO DE “MEDIR FREQUÊNCIAS”

Na divulgação de tecnologias relacionadas à biofísica, é comum encontrar afirmações segundo as quais Neher e Sakmann teriam “tabelado a eletricidade das células”, estabelecido frequências diagnósticas de órgãos ou criado um princípio geral de diagnóstico por frequência. Essas formulações não correspondem à descrição oficial do Nobel nem ao conteúdo dos trabalhos experimentais que fundamentaram a premiação.

O Nobel de 1991 foi concedido especificamente pelas descobertas referentes à função de canais iônicos individuais nas células. Os estudos trabalharam com grandezas fisicamente definidas, como corrente elétrica, potencial, condutância e cinética de canais. Portanto, a formulação cientificamente adequada é que Neher e Sakmann demonstraram que propriedades bioelétricas celulares podem ser medidas diretamente e utilizadas para investigar mecanismos funcionais da célula.

Isso é diferente de afirmar que tenham determinado frequências específicas correspondentes a todos os órgãos, criado um mapa diagnóstico frequencial do corpo humano ou validado sistemas de análise de cabelo, saliva ou outras amostras com essa finalidade. Essas aplicações, quando propostas, necessitam de validação própria.

6.1 Interpretações posteriores e o exemplo de Miguel Ferrari Jr.

Em materiais de divulgação ligados à biorressonância e à denominada medicina frequencial, o nome de Miguel Ferrari Jr. aparece associado a interpretações posteriores da biofísica celular. O próprio material biográfico do autor descreve uma trajetória vinculada à biorressonância, ao biomagnetismo e à chamada física quântica aplicada (FERRARI JR., s.d.).

Textos não acadêmicos atribuídos ao autor também relacionam faixas elétricas e frequenciais do organismo a interpretações clínicas amplas. Esses materiais devem ser considerados em uma categoria de evidência distinta daquela representada pelos trabalhos experimentais de Neher e Sakmann. A existência de uma hipótese ou de uma tradição interpretativa não equivale à demonstração experimental de sua validade.

Essa distinção não impede a investigação de novas hipóteses. Ao contrário, a ciência avança por meio de hipóteses testáveis. O ponto metodológico central é que cada hipótese precisa ser demonstrada por experimentos próprios, com desenho adequado, mensuração objetiva, reprodutibilidade e comparação com referências independentes.

7 DA HIPÓTESE À VALIDAÇÃO DE UMA METODOLOGIA BIOFÍSICA

O desenvolvimento do patch-clamp oferece uma lição metodológica particularmente relevante. Não bastava supor que canais iônicos produziriam determinada corrente. Foi necessário isolar o fenômeno, medi-lo, aperfeiçoar a sensibilidade do sistema, reproduzir os achados e estabelecer sua relação com a fisiologia.

Para qualquer nova tecnologia de avaliação biofísica, uma cadeia de validação coerente pode ser organizada nas seguintes etapas:

- Amostra biológica claramente definida;
- propriedade física ou química mensurável;
- sinal efetivamente obtido pelo equipamento;
- método de processamento e transformação do sinal;
- repetibilidade intraensaio, interensaio e, quando aplicável, entre operadores;
- correlação com fenômeno biológico definido previamente;
- comparação com métodos de referência ou padrões independentes;

• determinação de desempenho analítico e, quando pertinente, clínico;
• validação e delimitação do campo de aplicação.

Essa sequência é essencial porque a existência de bioeletricidade celular está bem estabelecida, assim como a possibilidade de obter informações a partir de amostras biológicas. Contudo, essas duas premissas gerais não validam automaticamente uma tecnologia específica. Cada método precisa demonstrar o que mede, como mede, com que precisão e qual relação existe entre o sinal registrado e a interpretação gerada.

7.1 Relevância metodológica para o BioSpectra

Para o BioSpectra, o legado de Neher e Sakmann deve ser apresentado como referência metodológica e não como validação indireta. A conexão cientificamente defensável está no princípio de transformar uma propriedade mensurável de um sistema ou amostra biológica em um sinal analisável e, a partir daí, testar sua relação com variáveis biológicas independentes.

Assim, a consolidação científica do BioSpectra depende da caracterização objetiva da propriedade captada na amostra capilar, da descrição instrumental e espectral do sinal, da repetibilidade das medições, do controle de variáveis pré-analíticas, da comparação com métodos laboratoriais de referência e da demonstração estatística das correlações propostas.

Essa postura fortalece a tecnologia porque evita atribuir ao BioSpectra uma validação histórica que não existe e desloca o argumento para aquilo que efetivamente pode produzir evidência: desenho experimental, padronização, reprodutibilidade, correlação e validação.

8 BIOQUÍMICA E BIOFÍSICA COMO PERSPECTIVAS COMPLEMENTARES

A compreensão do organismo não precisa ser limitada a um único tipo de mensuração. A bioquímica investiga substâncias e reações; a genética estuda informações e variações no DNA; a microscopia permite a observação de estruturas; a eletrofisiologia analisa fenômenos elétricos associados à atividade celular; e a biofísica integra princípios físicos ao estudo de sistemas vivos.

Cada método responde a uma pergunta diferente. Por isso, uma avaliação funcional não substitui, por princípio, a avaliação bioquímica, molecular ou estrutural. Em situações adequadamente definidas, abordagens distintas podem fornecer informações complementares e ampliar a capacidade de formular e testar hipóteses sobre o funcionamento biológico.

Para tecnologias emergentes, essa complementaridade é particularmente útil, pois permite que sinais novos sejam comparados a parâmetros estabelecidos e que hipóteses interpretativas sejam testadas contra medidas independentes.

9 DISCUSSÃO

O verdadeiro alcance do trabalho de Neher e Sakmann está na demonstração de que fenômenos fisiológicos de escala extremamente pequena podem tornar-se observáveis quando existe uma tecnologia suficientemente sensível e um modelo experimental capaz de isolar o fenômeno. Um canal molecular abre; íons atravessam a membrana; uma corrente é produzida; essa corrente é captada e registrada; e o registro passa a ser relacionado a uma função biológica.

Esse percurso resume a lógica da biofísica experimental: converter uma propriedade física de um sistema vivo em um sinal mensurável e, a partir desse sinal, construir inferências testáveis sobre sua função. O valor científico não está apenas na sensibilidade do equipamento, mas na cadeia de evidências que conecta o sinal à interpretação.

Essa distinção é especialmente importante no contexto de tecnologias que utilizam amostras biológicas pequenas. A pergunta relevante não é apenas se uma amostra contém informação, mas qual informação ela contém, por qual propriedade essa informação é acessada, em que condições o sinal é estável e até que ponto ele representa o fenômeno do organismo que se pretende inferir.

Sob essa perspectiva, o desenvolvimento de avaliações biofísicas contemporâneas deve se apoiar menos em analogias históricas e mais em protocolos próprios de validação. O legado de um Nobel pode inspirar o desenho metodológico, mas não substitui a evidência produzida especificamente para cada tecnologia.

10 CONCLUSÃO

O Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina concedido a Erwin Neher e Bert Sakmann em 1991 representou um marco para a fisiologia e para a biofísica celular. Ao permitir o registro de correntes associadas a canais iônicos individuais, seus trabalhos demonstraram que processos biológicos podem ser investigados por propriedades elétricas e físicas diretamente mensuráveis.

O legado desses pesquisadores também ajuda a compreender que pequenas porções de material biológico podem conservar propriedades relevantes do sistema de origem. Todavia, o

conteúdo informacional de uma amostra depende do que efetivamente é medido e da validade do método empregado.

Neher e Sakmann não demonstraram que cada órgão possua uma frequência diagnóstica específica e não validaram sistemas de análise frequencial de cabelo, saliva ou outras amostras. Por isso, a aplicação desse legado ao BioSpectra deve ser apresentada em termos metodológicos: identificação do sinal, compreensão de sua origem, demonstração de repetibilidade, correlação com fenômenos biológicos e comparação com métodos de referência.

É justamente essa combinação entre hipótese, tecnologia, mensuração, reprodutibilidade e validação que permite transformar uma proposta inovadora em uma metodologia cientificamente sustentada.

REFERÊNCIAS

HAMILL, O. P.; MARTY, A.; NEHER, E.; SAKMANN, B.; SIGWORTH, F. J. Improved patch-clamp techniques for high-resolution current recording from cells and cell-free membrane patches. Pflügers Archiv, v. 391, p. 85-100, 1981.

NEHER, E.; SAKMANN, B. Single-channel currents recorded from membrane of denervated frog muscle fibres. Nature, v. 260, p. 799-802, 1976. DOI: 10.1038/260799a0.

NEHER, E.; SAKMANN, B.; STEINBACH, J. H. The extracellular patch clamp: a method for resolving currents through individual open channels in biological membranes. Pflügers Archiv, v. 375, p. 219-228, 1978.

THE NOBEL PRIZE. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1991: Erwin Neher and Bert Sakmann. Nobel Prize Outreach. Disponível em: https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1991/summary/. Acesso em: 19 set. 2026.

FERRARI JR., M. Minha história - Miguel Ferrari Jr. Física Quântica Aplicada. Disponível em: https://miguelferrarijr.com.br/minha-historia-miguel-ferrari-jr/. Acesso em: 19 set. 2026.

FERRARI JR., M. Dor em articulações... já foi ao dentista? Somos Todos UM, 11 ago. 2009. Material de divulgação não acadêmico utilizado apenas como exemplo de interpretação posterior. Disponível em: https://www.somostodosum.com.br/clube/artigos/corpo-e-mente/dor-em-articulacoes-ja-foi-ao-dentista-19239.html. Acesso em: 19 set. 2026.