

Resistência elétrica dos géis e líquidos utilizados em eletroterapia no acoplamento eletrodo-pele

Electrical resistance of gels and liquids used in electrotherapy for electrode-skin coupling

Viviane J. Bolfe¹, Rinaldo R. J. Guirro²

Resumo

Objetivo: Avaliar a resistência elétrica inicial e no decorrer do tempo de agentes de acoplamento utilizados na interface eletrodo-pele submetidos a estimulação elétrica com corrente bifásica e corrente contínua. **Métodos:** A resistência elétrica foi calculada indiretamente pela Lei de Ohm, sendo a tensão elétrica gerada em um equipamento de corrente constante (10 mA, 100 Hz, 100 μ s e pulso bifásico quadrado simétrico) e captada por um osciloscópio digital. Dez agentes de acoplamento (géis, n=5; líquidos, n=5) foram submetidos à eletrólise com corrente bifásica quadrática simétrica (CB), 0,0134 mA/mm², 100 Hz, 100 μ s ou com corrente contínua (CC) a 0,0017 mA/mm² de densidade de corrente, durante 30 minutos, sendo reavaliados a cada 5 minutos. Para análise dos dados, aplicaram os testes de Friedman e Kruskal-Wallis, seguidos de Rank e Dunn, respectivamente, e, para a correlação, empregou-se o coeficiente de Spearman ($\alpha=0,05$). **Resultados:** Os valores iniciais de resistência dos géis variaram entre 116,00 e 146,00 Ω , e dos agentes de acoplamento líquidos, entre 106,00 e 4726,67 Ω , apresentando, em sua maioria, correlação positiva com o tempo de eletrólise. **Conclusões:** Conclui-se que os géis, a água potável e a solução fisiológica são os indicados para a prática da estimulação elétrica terapêutica, pois mantêm a baixa resistência durante o período de estimulação. Por outro lado, o uso de água destilada ou desionizada não é recomendado, pois apresentam alta resistência à passagem da corrente.

Palavras-chave: resistência elétrica; eletrólitos; estimulação elétrica.

Abstract

Objective: To evaluate the initial and ongoing electrical resistance of different coupling agents used in the skin-electrode interface. The agents were submitted to electrical stimulation with biphasic and direct currents. **Methods:** The electrical resistance was calculated indirectly by Ohm's Law. The tension was generated by a constant current generator (10 mA, 100 Hz, 100 μ s and symmetrical biphasic square pulse) and captured by a digital oscilloscope. Ten coupling agents (gels, n=5; liquids, n=5) were submitted to electrolysis with symmetrical biphasic square current (BC), 0.0134 mA/mm², 100 Hz, 100 μ s or with direct current (DC) at 0.0017 mA/mm² for 30 minutes, being reassessed every 5 minutes. For data analysis the Friedman and Kruskal-Wallis tests were applied, followed by the rank test and the Dunn test respectively. Also, Spearman's coefficient test was used for correlation analysis ($\alpha=0.05$). **Results:** The initial resistance values of the gels varied between 116.00 and 146.00 Ω and of the liquid coupling agents, between 106.00 and 4726.67 Ω , with mostly positive correlation with the time of electrolysis. **Conclusions:** We concluded that gels, drinking water and saline solution are recommended for the practice of therapeutic electrical stimulation because they maintain low resistance during stimulation. In contrast, the use of distilled or deionized water is not recommended due to the high resistance to the passage of electrical current.

Key words: electrical resistance; electrolytes; electrical stimulation.

Recebido: 08/09/2008 – Revisado: 09/02/2009 – Aceito: 24/04/2009

¹Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), Piracicaba (SP), Brasil

²Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (USP-RP), Ribeirão Preto (SP), Brasil
Correspondência para: Rinaldo R. J. Guirro, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Curso de Fisioterapia, Av. Bandeirantes, 3900, Monte Alegre, CEP 14049-900, Ribeirão Preto (SP), Brasil, e-mail: rguirro@fmrp.usp.br

Introdução

Os avanços tecnológicos na área de transmissão e captação de sinais elétricos com fins terapêuticos ou de diagnóstico e sua crescente aplicação na área da saúde enfatizam a necessidade de conhecer as características dos produtos utilizados durante sua execução^{1,2}, além da resistência elétrica dos tecidos biológicos³.

Nesse contexto, o agente de acoplamento merece uma consideração especial já que estabelece o contato entre o eletrodo de superfície e o paciente e, portanto, suas características poderiam influenciar os resultados do procedimento⁴.

Apesar da suposição de que a magnitude da oposição à corrente elétrica, oferecida pelo agente de acoplamento, pode alterar o conforto do paciente durante a terapia, a escolha do mesmo e seu comportamento durante a passagem do estímulo elétrico são pouco estudados, podendo-se considerar que a passagem de correntes elétricas terapêuticas pelos diferentes meios de acoplamento alteram a sua resistência elétrica. Acrescenta-se ainda a preocupação com a segurança e eficácia do tratamento, uma vez que não é raro encontrar profissionais selecionando erroneamente o agente de acoplamento para sua terapia, como, por exemplo, utilizar água desionizada sob os dois eletrodos durante

iontoforese, prática que expõe o despreparo bem como a carência de embasamento sobre o assunto.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a resistência elétrica inicial e no decorrer do tempo de agentes de acoplamento (géis e líquidos) utilizados na interface eletrodo-pele, submetidos à estimulação elétrica com corrente bifásica e corrente contínua.

Materiais e métodos

Foram analisados dez agentes de acoplamento passíveis de serem empregados na interface eletrodo-pele para a transmissão de estímulos elétricos tanto na prática clínica quanto em pesquisas científicas na área da fisioterapia. Para tanto, optou-se pela aquisição dos géis industriais de maior comercialização na área e pelos líquidos, solução fisiológica e as águas da rede pública (potável), industrializada, desionizada e destilada, sendo a solução fisiológica utilizada no acoplamento de eletrodos para o tratamento de úlcera cutânea, e as águas desionizada e destilada no procedimento de iontoforese (Tabela 1).

Para evitar possíveis alterações nas propriedades físico-químicas e padronizar as amostras, certificou-se de que elas

Tabela 1. Identificação do nome comercial, composição e fabricante dos agentes de acoplamento analisados.

Grupo	Nome	Composição	Fabricante
G1	Gel Sonic	Água desionizada, carbopolímero, corante, W6007, tri-etanolamina, fenoxietanol, glicerina, 1,2 dibromoglutatonitrila	Fisio Line® Cosméticos Ind. e Com Ltda. Rua João Francisco de Oliveira, 416, Distrito Industrial Unileste, Piracicaba, SP.
G2	RMC® Gel Clínico (Incolor)	Carboxivinílico, imidazolilidil uréia, metil parabeno, corante, 2 amino, 2 metil, 1 propanol (AMP), água desionizada	Unigel – Indústria Brasileira de Produtos Médicos Ltda. Rua Prof. Horácio Quaglio, 138, Jd. América, Amparo, SP.
G3	RMC® Gel Clínico (Azul)	Carboxivinílico, imidazolilidil uréia, metil parabeno, corante, 2 amino, 2 metil, 1 propanol (AMP), água desionizada	Unigel – Indústria Brasileira de Produtos Médicos Ltda. Rua Prof. Horácio Quaglio, 138, Jd. América, Amparo, SP.
G4	Gel Carci®	Carbopol, trietanolamina, sorbitol, nipagin, QSP 100, não contém benzeno.	Pointer Química Industrial Ltda. Rua Prof. Nelson de Senna, 482/486, São Paulo, SP.
G5	Carbogel®	Água esterelizada, polímero carboxi-vinílico, espessante, conservante, e agente seqüestrante	Carbogel Ind. Com. Ltda. Rua Itapirú, 241, Saúde, Zona Sul, São Paulo, SP.
SF	Sidepal® Solução Fisiológica	Água destilada q.s.p., cloreto de sódio a 0,9%	Sidepal Indl. e Coml. Ltda. Av. Nova Cumbica, 920/ 930, Cumbica, Guarulhos, SP.
A1	Água potável ^A	Cloretos 6,0ml/L; pH 8,04.	Poço tubular, Campus Taquaral, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, SP.
A2	Crystal® Spal - água mineral natural ^B	Cloretos 3,0ml/L; pH 7,2; Na 35,0ml/L; K 3,4ml/L.	Spal Ind. Brasileira de Bebidas S/A. Fonte Ycuara - Av. Francisco Ferreira Lopes, 4303, Mogi das Cruzes, SP.
A3	Água destilada ^B	Cloretos 3,0ml/L; pH 6,1; Na 2,4ml/L; K 0,4ml/L.	Laboratório de Bioquímica e Análise Instrumental, Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP
A4	Água desionizada ^B	Cloretos 2,0ml/L; pH 5,7; Na 0,1ml/L; K 0,0ml/L.	Laboratório de Bioquímica e Análise Instrumental, Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

A=Análise realizada por Hidrolabor Laboratório de Controle de Qualidade Ltda. Sorocaba, SP; B=Análise realizada pelo Laboratório de Ecologia Aplicada – ESALQ – USP. Piracicaba, SP.

se encontravam dentro do prazo de validade, sendo seguidas as recomendações de armazenamento indicadas pelo fabricante, mantendo os produtos à temperatura ambiente e abrigados da luz. Além dos cuidados com o armazenamento, os agentes líquidos (A1, A2, A3 e A4) foram submetidos à análise laboratorial para determinar sua composição, possibilitando assim a comparação com outros estudos e metodologias.

O sistema desenvolvido para a aferição da tensão elétrica dos agentes de acoplamento constou de um osciloscópio digital (TDS 210 - Tektronix®), um gerador de corrente elétrica com intensidade constante (Dualpex 961®, Quark®), uma resistência cerâmica de 100 Ω , em série na saída do canal, e dois eletrodos metálicos. O agente de acoplamento foi depositado na área circunscrita por uma circunferência de PVC (38 mm de diâmetro e 4 mm de altura) colada sobre um dos eletrodos, sendo o circuito fechado com outro eletrodo, sobre o qual era aplicada uma força constante de 5,0 N para uniformizar o acoplamento. A Figura 1 mostra o sistema de aferição, o local de deposição do agente de acoplamento e exemplifica um dos protocolos de eletrólise com o gerador de corrente contínua.

Durante a avaliação da tensão elétrica, foi emitida uma corrente bifásica, pulso quadrado simétrico, 10 mA de intensidade, frequência de 100 Hz e duração de fase de 100 μ s. Foram coletados os valores instantâneos da tensão elétrica observados no osciloscópio e, a partir desses, calculada a resistência elétrica, indiretamente, pela Lei de Ohm ($U = R \times i$, onde U =tensão elétrica, R =resistência e i =intensidade).

Após a mensuração da resistência inicial, todos os agentes de acoplamento foram submetidos a um processo de eletrólise, o qual consistiu na aplicação de corrente contínua (CC), emitida por um gerador de corrente elétrica constante (Dialpulsi® 990, Quark®), com 2 mA de intensidade, o que equivale a uma densidade de corrente de 0,0017 mA/mm², durante 30 minutos. Os agentes de acoplamento G1, G2, G3, G4 e G5 também foram submetidos à passagem de corrente bifásica, com pulso quadrado simétrico, com 100 Hz de frequência, 100 μ s de duração de fase, 16 mA de intensidade da corrente, o que equivale a uma densidade de corrente de 0,0134 mA/mm², por 30 minutos. As densidades de correntes correspondem às utilizadas na prática clínica. Durante a exposição aos procedimentos, a resistência elétrica do agente de acoplamento foi avaliada a cada 5 minutos, considerando a média de três mensurações consecutivas como seu valor em cada tempo.

Foram analisadas cinco amostras de 4 mL de cada agente de acoplamento. A cada nova amostra, os eletrodos foram lavados com esponja e água corrente para remover os resíduos da eletrólise, passando, posteriormente, por três enxágues

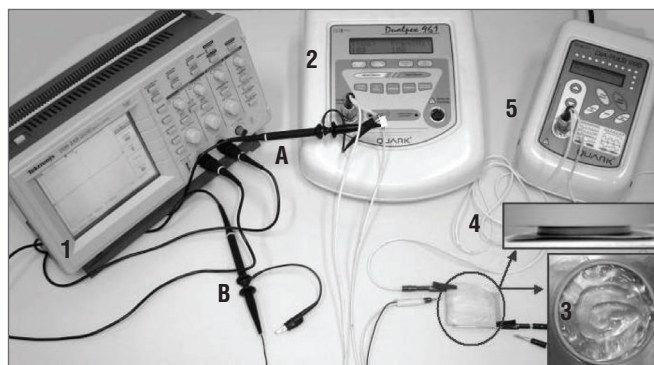


Figura 1. Sistema para mensuração da resistência elétrica dos agentes de acoplamento, composto pelo osciloscópio digital (1); gerador de corrente bifásica (2); resistência 100 Ω (seta), eletrodos metálicos + agente de acoplamento (visão superior – 3 e visão lateral – 4) e gerador de corrente contínua (5); A) monitoramento da corrente aplicada e B) captura da tensão elétrica.

consecutivos com água desionizada, quando a substância a ser testada posteriormente era um gel que continha essa água em sua composição original ou com a nova solução a ser analisada (solução fisiológica, água potável, água mineral, água destilada ou água desionizada), sendo secos com papel absorvente.

A sequência das análises foi randomizada por sorteio, tanto intra quanto intergrupo, visando reduzir a influência do procedimento de limpeza nos resultados. Todas as coletas foram realizadas em sala com temperatura de 23 \pm 2 $^{\circ}$ C e umidade do ar a 70 \pm 2%.

O teste de normalidade Shapiro-Wilk foi aplicado para todas as variáveis analisadas, procedendo-se com o teste de Friedman com *post hoc* de Rank para confrontar os valores de resistência elétrica no decorrer do tempo de eletrólise. Nas comparações entre os diferentes agentes de acoplamento e entre a ação da corrente bifásica e da corrente contínua, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo método de Dunn. Além disso, a relação entre o valor da resistência e o tempo de estimulação elétrica foi estabelecida pelo coeficiente de correlação de Spearman. Todos os testes foram processados no *software* BioEstat 4.0, considerando $p < 0,05$.

Resultados

Na análise da resistência elétrica dos agentes de acoplamento, foram consideradas diferentes substâncias, tempos e correntes elétricas.

A Tabela 2 apresenta os resultados do grupo dos géis estimulados com corrente contínua e com corrente bifásica, bem como os da comparação entre os dois procedimentos. No primeiro caso, observou-se aumento na resistência no decorrer do tempo de eletrólise no T30 comparado ao T0 e ao T5 para

Tabela 2. Valores medianos da resistência elétrica (Ω) dos diferentes agentes de acoplamento (géis) no decorrer do tempo de eletrólise com corrente contínua (CC) e com corrente bifásica (CB).

		T0		T05		T10			
		CC	CB	CC	CB	CC	CB		
G1	MD	140,00	142,00	144,00	144,67	148,00	143,33		
	AIQ	6,67	7,33	4,00	4,00	6,67	4,00		
G2	MD	120,00*	117,33*	120,00*	116,00* ^o	124,00*	117,33* ^o		
	AIQ	0,00	2,00	0,00	1,33	4,00	1,33		
G3	MD	120,00*	118,00*	120,00*	117,33*	121,33*	117,33*		
	AIQ	5,33	0,67	2,67	1,33	2,67	0,67		
G4	MD	132,00	134,00	132,00	132,00	132,00	132,00		
	AIQ	4,00	6,00	2,67	5,33	4,00	5,33		
G5	MD	140,00 ^o	132,00	140,00 ^o	133,33 ^o	144,00 ^o	134,00 ^o		
	AIQ	8,00	0,00	6,00	2,00	8,66	0,00		
		T15		T20		T25		T30	
		CC	CB	CC	CB	CC	CB	CC	CB
G1	MD	160,00	146,00 ^o	176,00	143,33	188,00*	146,00 ^o	205,67* [#]	144,67 ^o
	AIQ	12,00	2,67	8,00	6,67	0,67	3,33	12,00	3,33
G2	MD	124,00*	116,00* ^o	124,00*	117,33* ^o	125,33*	116,00* ^o	126,67* [#]	116,67* ^o
	AIQ	4,00	0,00	0,00	1,33	1,33	2,00	4,00	1,33
G3	MD	120,00*	116,00*	124,00* ^v	116,67* ^o	124,00*	118,00* ^o	124,00*	117,33* ^o
	AIQ	4,00	2,00	4,00	1,33	4,00	2,00	0,00	1,33
G4	MD	136,00	130,00	140,00	130,00	140,00*	130,00 ^o	144,00* [#]	130,00 ^o
	AIQ	8,00	4,00	8,00	4,00	8,00	6,00	4,00	6,00
G5	MD	160,00 ^o	134,00 ^o	174,00 ^o	134,00 ^o	190,67* [#]	135,00* ^o	217,30* [#]	134,00* ^o
	AIQ	24,67	2,67	18,67	1,67	26,67	2,00	28,00	3,33

*p<0,05 ao respectivo T0; #p<0,05 ao respectivo T5; ^vp<0,05 ao respectivo T15; ^op<0,05 ao respectivo G1; ^op<0,05 ao respectivo G2; ^op<0,05 ao respectivo G3; ^op<0,05 à respectiva CC; T=tempo de estimulação (minutos); MD=mediana; AIQ=amplitude interquartilica; n=5; G1=Sonic[®]; G2=RMC[®] (Incolor); G3=RMC[®] (Azul); G4=Carci[®]; G5=Carbogel[®].

todos os géis, exceto o G3; no T25 em relação ao T0 para o G1, G4 e G5 e, em relação ao T5 para o G5; e no T20 comparado ao T15 para o G3. Na comparação entre os diferentes géis, no mesmo tempo, foi detectada maior resistência para o G1 quando comparado ao G3 e ao G2, em todos os tempos, exceto no T30 para este último. O G5 também apresentou valores superiores aos do G2 em todos os tempos e aos do G3 a partir do T10.

Ao aplicar corrente bifásica nos mesmos géis, verificou-se alteração apenas para o G5 no T25 e T30 com relação ao T0. No confronto entre os diferentes géis, considerando o mesmo tempo, o G1 apresentou maior resistência que o G2 e o G3 em todos os tempos.

Na comparação entre a ação da corrente contínua e da corrente bifásica sobre a resistência elétrica dos géis, verificou-se valor superior quando tais agentes de acoplamento foram submetidos à corrente contínua para todos os grupos no T25 e T30; para o G1, G2, G3, e G5 no T20; para o G1, G2 e G5 no T15; e para o G2 e G5 no T10 e T5.

A Tabela 3 apresenta os resultados da resistência elétrica dos agentes de acoplamento utilizados na forma líquida (solução fisiológica, água potável, água mineral, água destilada

e água desionizada) ao longo do tempo de eletrólise com corrente contínua. Na avaliação intragrupo, verificaram-se valores superiores no T30 e T25 comparados ao T0 para A1, A2 e A3; no T20 em relação ao T0 para o A1; no T30 relacionado ao T5 para o A1, A2 e A3; e no T25 comparado ao T5 para o A3. A resistência da solução fisiológica (SF) não se alterou durante o tempo observado. Entretanto, na comparação intergrupo, observou-se, em todos os tempos, menor resistência para a S em relação a A2 e A3 e para A1 comparado ao A3, nos respectivos tempos de eletrólise.

A água desionizada (A4) apresentou grande variação interna nos valores de resistência elétrica e, portanto, não foi comparada aos demais agentes de acoplamento. Além disso, na análise intragrupo, não foram observadas alterações significativas na sua resistência durante o tempo de eletrólise.

Correlacionando-se os valores de resistência elétrica dos agentes de acoplamento e o tempo de estimulação com corrente contínua, obtiveram-se resultados positivos para todos os géis e para A1, A2 e A3. Já, sob estimulação com corrente bifásica, tal correlação foi positiva apenas para o G5, como mostra a Tabela 4.

Tabela 3. Valores medianos da resistência elétrica (Ω) dos diferentes agentes de acoplamento (líquidos) no decorrer do tempo de eletrólise com corrente contínua.

		T0	T05	T10	T15	T20	T25	T30
SF	MD	106,00	110,00	124,00	108,00	108,00	108,00	110,00
	AIQ	0,00	9,33	10,67	2,00	8,00	4,00	4,00
A1	MD	150,00	160,67	174,00	192,00	213,33*	229,33*	244,00*#
	AIQ	2,00	1,33	4,00	4,00	12,00	17,34	24,00
A2	MD	228,00 ^o	264,00 ^o	288,00 ^o	356,00 ^o	432,00 ^o	536,00* ^o	650,67* ^o # ^o
	AIQ	4,00	20,00	12,00	12,00	80,00	32,00	74,67
A3	MD	648,00 ^o ^v	746,67 ^o ^v	1113,33 ^o ^v	1500,00 ^o ^v	1853,33 ^o ^v	1913,33* ^o # ^o ^v	1973,33* ^o # ^o ^v
	AIQ	40,33	69,33	512,67	66,67	66,67	1700,00	2753,33
A4	MD	4726,67	3880,00	3413,33	3563,67	4026,67	3493,33	2613,33
	AIQ	480,00	1146,67	2140,00	3093,33	2420,00	3326,67	3900,00

*p<0,05 ao respectivo T0; #p<0,05 ao respectivo T5; ^op<0,05 à respectiva S; ^vp<0,05 à respectiva A1; T=tempo de estimulação (minutos); MD=mediana; AIQ=amplitude interquartilica; n=5. SF=Sidepal® solução fisiológica; A1=água potável; A2=Crystal® Spal água mineral; A3=água destilada; A4=água desionizada.

Discussão

Tendo em mente a importância de pesquisas que mimetizam as condições clínicas, sem que haja comprometimento da metodização do trabalho, as preocupações foram centradas: (1) na manutenção de um contato uniforme durante a mensuração da resistência e a passagem do estímulo elétrico¹ e; (2) na liberação de uma densidade de corrente compatível com os níveis clínicos, sendo inferior a 0,0050 mA/mm² quando empregada a corrente contínua⁵ e estando entre o limiar sensitivo e o motor quando utilizada a corrente bifásica, pois, nesse caso, a intensidade da corrente máxima dependerá do objetivo do tratamento⁶⁻⁸.

A preocupação com a transmissão efetiva da corrente elétrica ao paciente é frisada na literatura⁴, contudo o foco das pesquisas com os agentes de acoplamento voltam-se para a determinação de sua impedância acústica, importante na aplicação do ultrassom terapêutico^{9,10} e da sua influência na produção de ruídos durante a captação de sinais biológicos². Assim, referências específicas quanto à avaliação da resistência dos agentes de acoplamento mediante a passagem do estímulo elétrico foram encontradas em apenas um estudo¹, limitando-se às comparações dos dados obtidos com as pressuposições descritas nos livros texto. A escassez de pesquisas, apesar da importância de considerar a influência do agente de acoplamento durante a terapia, foi um fator crucial na decisão de executar o presente estudo.

Com base nos valores de resistência elétrica dos géis, pôde-se constatar que todos são eficientes na transmissão da corrente elétrica, característica garantida pela presença de um ou mais agentes ionizantes na sua composição como, por exemplo, a dibromoglutatonitrila, o carbopolímero (carboximetil celulose sódica), o metil parabeno, o agente sequestrante, entre outros. No entanto, as diferenças observadas provavelmente estejam relacionadas à concentração desses componentes, particular de cada fabricante, uma vez que quanto maior for a quantidade

Tabela 4. Correlação entre os valores de resistência elétrica dos agentes de acoplamento (Ω) e o tempo de estimulação com corrente bifásica (CB) e com corrente contínua (CC).

	CC		CB	
	R	P	R	P
G1	0,9442	<0,0001	0,1375	0,4310
G2	0,6452	<0,0001	-0,0038	0,9826
G3	0,3639	0,0316	-0,0968	0,5801
G4	0,6385	<0,0001	-0,2743	0,1107
G5	0,9190	<0,0001	0,4327	0,0094
SF	0,1004	0,5660		
A1	0,9317	<0,001		
A2	0,9779	<0,001		
A3	0,8374	<0,001		
A4	-0,0191	0,9133		

G1=Sonic®; G2=RMC® (Incolor); G3=RMC® (Azul); G4=Carci®; G5=Carbogel®; SF=Sidepal® solução fisiológica; A1=água potável; A2=Crystal® Spal água mineral; A3=água destilada; A4=água desionizada. n=5.

de íons, menor a oposição ao fluxo elétrico¹¹. Na prática, a menor resistência oferecida pelos géis RMC® incolor e RMC® azul poderia determinar uma estimulação mais confortável, especialmente para os pacientes com uma maior sensibilidade¹² ou em terapias em que a impedância dos tecidos é maior, como diante de correntes de baixa frequência e de um aumento na distância entre os eletrodos³.

A manutenção dos valores, durante o tempo de estimulação com corrente bifásica, reitera a aplicação dos géis com esse tipo de corrente. O aumento da resistência do Carbogel® após os 25 minutos pode ser interpretado como uma menor estabilidade do mesmo frente à estimulação por períodos superiores a esse. Essa menor estabilidade é confirmada pela alteração precoce demonstrada pelo mesmo gel frente à eletrólise com corrente contínua, quando comparado aos demais.

As variações significativas na resistência dos géis quando estimulados com corrente contínua, em comparação com a

corrente bifásica, eram esperadas devido à transmissão ininterrupta e unidirecional da primeira, o que acelera a eletrólise⁵. No entanto, essa alteração não ocorreu no mesmo período de tempo para todos os produtos, o que indica que diferenças na formulação dos mesmos modificam a suscetibilidade à ação ionizante. Um exemplo disso é o comportamento apresentado pelos géis RMC[®] incolor e RMC[®] azul. Apesar da mesma composição e, possivelmente, mesma concentração de agentes ionizantes, pois pertencem ao mesmo fabricante, no RMC[®] incolor, a diferença entre os valores de resistência, ao se compararem os dois procedimentos de estimulação, ocorreu precocemente. Nesse caso, cabe levantar a hipótese de que a substância determinante da coloração azul tenha permitido uma maior estabilidade durante a eletrólise.

Assim como os géis, a maioria dos agentes de acoplamento líquidos apresentaram aumento da resistência com o passar do tempo de estimulação com corrente contínua. Tal alteração iniciou-se a partir dos 20 minutos para a água potável e a partir dos 25 para a água mineral e água destilada, em função da maior condutividade elétrica da primeira, possivelmente pela maior concentração iônica, quando comparada às demais, evidenciada na análise físico-química.

A não variação da resistência elétrica apresentada pela solução fisiológica e pela água desionizada reflete os extremos da concentração iônica de tais substâncias. Acredita-se que, devido a grande concentração de íons na solução fisiológica, o tempo de estimulação não tenha sido suficiente para separá-los de tal forma a alterar sua resistência. Já na água desionizada, a eletrólise é menos evidente por essa ser uma solução com menor concentração iônica.

A menor resistência da solução fisiológica, comparada aos demais agentes líquidos, bem como sua maior estabilidade elétrica durante o fluxo iônico, a caracteriza como o agente de escolha para umedecer as esponjas nos tratamentos com corrente contínua, sendo a água potável a segunda opção, uma vez que não apresentou diferença na resistência elétrica quando comparada à solução fisiológica e apresentou menor variação intragrupo quando comparada à água mineral e à água destilada. A utilização de água potável, ao invés de água destilada, também é preconizada por Robinson¹³.

Apesar de Starkey¹² descrever que não há diferenças entre a resistência elétrica de géis hidrossolúveis e da água potável, considerando que a opção entre eles deva ser de acordo com o eletrodo empregado na estimulação, os dados obtidos no presente estudo indicam que tal afirmativa só é verdadeira para

um único gel (Carbogel[®]), não permitindo a generalização dos resultados para os outros produtos. Em contrapartida, endossa-se a afirmativa do autor de que as propriedades químicas dos géis permitem o uso por tempo prolongado, apresentando pouca decomposição associada ao fluxo de corrente ou à evaporação, já que foram observadas alterações mais tardias nos valores de resistência elétrica dos mesmos.

Por outro lado, Alon, Kantor e Ho¹ observaram que a associação entre eletrodo de silicone-carbono e gel conduz melhor a corrente elétrica do que quando o mesmo eletrodo for acoplado com esponja embebida em água, mas que a distribuição da corrente foi mais uniforme nesse último caso, evidenciando a necessidade de maior investigação.

A exemplo da água destilada, reforça-se também a contraindicação da água desionizada para a transmissão de correntes elétricas. A alta resistência apresentada relaciona-se à baixa concentração de íons, característica de tais soluções. O emprego, nessas condições, poderia aumentar o desconforto e reduzir a eficácia do tratamento com corrente elétrica. No entanto, em terapias onde são adicionados fármacos ionizados, tais substâncias podem ser utilizadas, especialmente visando o incremento da repulsão eletrostática^{14,15}.

Em geral, pode-se concluir que os agentes de acoplamento diferem com relação a resistência elétrica, apresentando aumento gradual da mesma quando submetido à eletrólise. Dentre os géis analisados, o RMC[®] azul foi o que apresentou a menor resistência inicial, mantendo-se inferior aos demais produtos ao longo do tempo. A solução fisiológica e a água potável são os agentes de acoplamento líquidos mais indicados para umedecer as esponjas, uma vez que apresentaram a menor oposição ao fluxo elétrico. Além disso, a solução fisiológica manteve sua resistência elétrica inalterada durante todo o tempo de eletrólise, demonstrando maior estabilidade elétrica que os demais. O uso de água destilada ou desionizada não é recomendado para tal prática terapêutica, pois apresentam alta resistência à passagem da corrente elétrica, com exceção para os casos onde seu emprego beneficiaria a repulsão do íon terapêutico.

Agradecimentos : : : .

Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (PROSUP-CAPES).

Referências bibliográficas

1. Alon G, Kantor G, Ho HS. The effect of three of surface electrodes on threshold excitation of human motor nerve. *J Clin Electrophysiol*. 1996;8(1):2-8.
2. Huigen E, Peper A, Grimbergen CA. Investigation into the origin of the noise of surface electrodes. *Med Biol Eng Comput*. 2002;40(3):332-8.
3. Bolfe VJ, Ribas SI, Montebelo MIL, Guirro RRJ. Comportamento da impedância elétrica dos tecidos biológicos durante estimulação elétrica transcutânea. *Rev Bras Fisioter*. 2007;11(2):153-9.
4. Nolan TP. Electrotherapeutic modalities: electrotherapy and iontophoresis. In: Michlovitz SL, Nolan TP. *Modalities for therapeutic intervention*. 4ª ed. Philadelphia: F. A. Davis Company; 2005. p. 97-121.
5. Ciccone CD. Iontoforese. In: Robinson AJ, Snyder- Mackler L. *Eletrofisiologia clínica: eletroterapia e teste eletrofisiológico*. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2001. p. 297-318.
6. Johnson MI, Tabasam G. An investigation into the analgesic effects of interferential currents and transcutaneous electrical nerve stimulation on experimentally induced ischemic pain in otherwise pain-free volunteers. *Phys Ther*. 2003;83(3):208-23.
7. Palmer ST, Martin DJ, Steedman WM, Ravey J. Effects of electric stimulation on C and A delta fiber – mediated thermal perception thresholds. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(1):119-28.
8. Lyons CL, Robb JB, Irrgang JJ, Fitzgerald GK. Differences in quadriceps femoris muscle torque when using a clinical electrical stimulator versus a portable electrical stimulator. *Phys Ther*. 2005;85(1):44-51.
9. Casarotto RA, Adamowski JC, Fallopa F, Bacanelli F. Coupling agents in therapeutic ultrasound: acoustic and thermal behavior. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(1):162-5.
10. Mardegan MFB. Análise da transmissividade dos meios de acoplamento utilizados na aplicação do ultra-som terapêutico [dissertação]. Piracicaba: UNIMEP; 2004.
11. Gerleman DG, Barr JO. Instrumentação e segurança do produto. In: Nelson RM, Hayes KW, currier DP. *Eletroterapia Clínica*. 3ª ed. São Paulo: Manole; 2003. p. 15-53.
12. Starkey C. Agentes elétricos. In: Starkey C. *Recursos terapêuticos em fisioterapia*. 2ª ed. São Paulo: Manole; 2001. p. 176-276.
13. Robinson AJ. Instrumentação para eletroterapia. In: Robinson AJ, Snyder- Mackler L. *Eletrofisiologia clínica: eletroterapia e teste eletrofisiológico*. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2001. p. 43-83.
14. Low J, Reed A. Electrical stimulation of nerve and muscle. In: *Electrotherapy explained: principles and practice*. 3ª ed. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2000. p. 53-139.
15. Khan F, Newton DJ, Smyth EC, Belch JJ. Influence of vehicle resistance on transdermal iontophoretic delivery of acetylcholine and sodium nitroprusside in humans. *J Appl Physiol*. 2004;97(3):883-7.