



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS (PIPGCF) UFSCar-UNESP**

**ESPERANZA HERRERA VILLABONA**

**CONFIABILIDADE DOS TESTES DE CONDUÇÃO NERVOSA;  
EFEITOS DA CRIOTERAPIA NA CONDUÇÃO NERVOSA SENSORIAL  
E MOTORA**

**SÃO CARLOS - SP  
2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS (PIPGCF) UFSCar-UNESP**

**ESPERANZA HERRERA VILLABONA**

**CONFIABILIDADE DOS TESTES DE CONDUÇÃO NERVOSA;  
EFEITOS DA CRIOTERAPIA NA CONDUÇÃO NERVOSA  
PERIFÉRICA**

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa Interinstitucional de Pós-graduação em Ciências Fisiológicas (PIPGCF) UFSCar-UNESP, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências Fisiológicas.**

**Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tania de Fátima Salvini.**

**Apoio Financeiro: CAPES / Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação**

**SÃO CARLOS  
2010**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

V712ct

Villabona, Esperanza Herrera.

Confiabilidade dos testes de condução nervosa ; efeitos da crioterapia na condução nervosa sensorial e motora / Esperanza Herrera Villabona. -- São Carlos : UFSCar, 2010. 106 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Fisiologia humana. 2. Crioterapia. 3. Fisioterapia. 4. Termoterapia. 5. Gelo. I. Título.

CDD: 612 (20ª)

Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências  
Fisiológicas  
Associação Ampla UFSCar/UNESP

Defesa de Tese de Esperanza Herrera Villabona

Profª. Drª. Tania de Fátima Salvini.....  
Profª. Drª. Débora Bevilaqua Grossi.....  
Prof. Dr. Hugo Celso Dutra de Souza.....  
Profª. Drª. Rosana Mattioli.....  
Prof. Dr. Thiago Luiz Russo.....

*Dedico este trabalho a William e aos meus filhos Silvia Juliana e Julián Andrés, porque vivenciaram comigo o dia a dia deste processo e me animaram com seu carinho permanente. Filhos, que Deus abençoe seus caminhos e os ajude a vencer seus desafios no futuro. Eu amo vocês, meus Julianitos!*

*Me encantaría que cada mañana, cuando un estudiante se levanta para ir a clase, comprendiera que allí, en su colegio o universidad, que cada maestro al dar la clase, o un papá al revisar la tarea por las noches, son los escenarios donde se juega la soberanía del país, la diferencia de poder futuro.*

*¡La historia de Colombia será escrita con lápiz, no con sangre!*

*Antanas Mockus (Filósofo colombiano)*

*Eu gostaria que cada manhã, quando um estudante acordasse para ir à aula, entendesse que lá, em sua escola ou universidade, que cada professor ao dar sua aula, ou um papai ao revisar a tarefa de seus filhos à noite, são os verdadeiros cenários onde se cria a soberania de um país, a diferença de poder futuro.*

*A história da Colômbia será escrita com lápis, não com sangue!*

*Antanas Mockus (Filósofo colombiano)*

## AGRADECIMENTOS

Quando se está concluindo uma nova etapa da vida, damos-nos conta de que não estamos sozinhos, que é impossível concretizar um desejo sem a ajuda de Deus e de quem Ele coloca para nos ajudar. Por isso, neste momento, vem a minha cabeça não apenas nomes de pessoas, mas também as vivências gratas que evidenciam a grande importância dessas pessoas durante a permanência de minha família no Brasil.

William, eu nunca esquecerei a tua resposta imediata, positiva e decidida quando eu de modo inseguro, te propus a viajar ao Brasil para fazer o doutorado. Exemplificado nesta experiência, mas não só nela, posso te dizer que mais do que meu marido, você é um ótimo amigo que tem apoiado meu desenvolvimento pessoal e profissional. Obrigada por tua paciência, por compartilhar os momentos bons e por ajudar-me a suportar os momentos de dúvida e desesperança. Obrigada por me dar esses maravilhosos filhos e por liderar o cuidado deles, principalmente durante este tempo.

Juliancinho e Silvinha, vocês são a minha razão de viver, suas vozes e sorrisos me deram o alento necessário para cumprir esta nova meta. Obrigada por se mostrarem sempre seguros, positivos e felizes, ainda nos momentos mais difíceis. Vocês me ensinaram a encarar os momentos adversos com otimismo e a me deleitar com as coisas mais simples da vida.

Família, conseguimos! Valeu! Este doutorado é uma conquista de todos nós. Sem dúvida, esta é uma das etapas mais transcendentais de nossas vidas. Por isso os agradecimentos aqui apresentados são expressos, na sua maioria, por toda a família.

À minha mãe, meu pai, meus irmãos e sobrinhos, obrigado por seu carinho à distância; por suas ligações telefônicas e no skype que nos permitiram continuar participando de todas as atividades familiares e mantermo-nos sempre perto de vocês. Muito obrigado!

À Tania, orientadora e amiga, um agradecimento muito especial. Seu comentário aquele dia lá na Colômbia, enquanto discutíamos os projetos desenvolvidos no

laboratório de eletrofisiologia, que lidero na UIS, foi definitivo para me convencer a fazer o doutorado. Nessa oportunidade você me disse que valeria a pena complementar, em curto prazo, a minha formação com o doutorado, pois a pesquisa realizada até esse momento evidenciava maturidade científica. Você não imagina a importância de suas palavras, vindo de uma pesquisadora tão prestigiada. Obrigada por acordar em mim o desejo de realizar o doutorado, ainda por impossível que parecesse naquele momento. Você me ensinou, na realidade, que não há sonhos impossíveis, só pessoas incapazes de fazê-los realidade. Obrigada por transmitir segurança, positivismo, perseverança, solidariedade, sensibilidade social e política e especialmente, por ensinar-me que um professor sempre tem muito que aprender com os outros, como pessoa, como docente e como profissional. Muito obrigada por abrir as portas de sua casa e de seu laboratório, a esta *sua família colombiana*.

Aos nossos amigos colombianos, obrigada por suas vozes de alento. Não imaginam o prazer enorme que nós sentíamos quando líamos suas mensagens diárias. Deus nos tem abençoado com tão bons amigos: Dianita, Cris, Jacky, Sol, Elsitá, Aminta, Luis Eduardo, Martica (a nossa querida secretária), Claudia, Diana Delgado, Carolina, Pilar, Álvaro, Cristina e Luis Carlos (meus vizinhos), obrigado pelo enorme apoio.

Aos colegas do programa de Fisioterapia da UIS, muito obrigada por facilitar a realização desta comissão de estudos, especialmente à Solange, que como Diretora da Escola de Fisioterapia, conseguiu que fosse aprovada. Carolina, obrigada por nos receber na sua casa na nossa chegada ao Brasil.

Dianita, muito obrigada pela parceria acadêmica, pela orientação na estatística dos trabalhos e, principalmente, pela sincera amizade que me tem presenteado por vários anos, dando-me conselhos sempre bem-vindos nos momentos difíceis.

Cris, colega e amiga de tanto tempo, obrigada por compartilhar esta aspiração profissional e pela paciência nas extensas conversas, dando-nos força para realizar o doutorado com o desejo de contribuir para o desenvolvimento da profissão. Em breve começaremos a responder essa expectativa com a criação do primeiro mestrado de Fisioterapia na Colômbia!



À Universidad Industrial de Santander (UIS) pelas oportunidades de desenvolver-me como professora durante 23 anos e por me permitir vivenciar esta importante e grata experiência. Obrigada por apoiar a formação avançada dos professores que beneficiará o desempenho na docência, extensão e pesquisa. Esse é um bom caminho para acrescentar a qualidade na educação, na procura de uma Colômbia mais justa, pacífica e desenvolvida.

Aos nossos amigos brasileiros, meu muito obrigado pela amizade. Vocês não foram apenas nossos amigos, vocês foram a nossa família brasileira. Não esqueceremos os churrascos gostosos e as brincadeiras divertidas no laboratório. Também não esquecerei o primeiro momento com vocês, quando se mostraram surpresos, porque uma colombiana loira, branca e um pouco, só um pouquinho, menos nova que todos vocês havia chegado ao laboratório (risos). As diferenças de idade, cultura, política, etc, não impediram que fizéssemos uma ótima amizade. Vocês são pessoas muito boas, “meninos”, nós gostamos muito de sua solidariedade, alegria, abertura cultural, enfim... vocês estarão presentes em nossos corações para sempre. Esperaremos por suas visitas brevemente. Serão todos bem-vindos em nossa casa e em nossa linda terra colombiana!

Thiago e Davi, obrigada por cada um dos momentos compartilhados, por seus conselhos e ajuda permanente, pelas caipirinhas inesquecíveis e pelos bolos da Davi, sempre apreciados pelas crianças. Vocês foram nossos irmãos e tios no Brasil. Deus abençoe vocês! As crianças agradecem também os cuidados e carinho que vocês deram sempre a seu cachorrinho.

Paulinha e Bia, obrigada pela solidariedade, pela alegria e por serem amigas tão maravilhosas e dispostas a ajudar os outros. Bia, eu em nome das colegas da UIS, agradeço muito sua participação e seu interesse no projeto de cooperação bilateral Brasil - Colômbia. Admiramos sua sensibilidade social!

Thiaguinho, Bia e Paulinha, muito obrigada também pela colaboração nas revisões idiomáticas, que mais de uma vez pedi a cada um de vocês.

Marcelinha, Gabriel, Sabrina e Messa, João e Rita, Teresa, compartilhamos lindos momentos, muito obrigada meninas e meninos! Sabrina e Messa, Deus abençoe à linda Sarah.

Mari e Christiane, obrigada pela iniciação no Biodex. Amilton, foi muito bom iniciar nossa parceria acadêmica no projeto.

Amigos e colegas da Fisioterapia, Tania tem-nos permitido construir uma equipe colombo-brasileira bem interessante, que já começou a dar os primeiros frutos acadêmicos com a aprovação do projeto de cooperação bilateral pelo CNPq e Colciencias. Essa será apenas a primeira conquista, porque estou segura que esta parceria perdurará por muito tempo! Obrigada Tania por aceitar três fisioterapeutas colombianas em sua equipe de estudantes e permitir nos relacionar com tão ótimos colegas.

Ao professor Norberto García da USP que junto com minha orientadora me recomendaram no Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação PEC-PG para o apoio financeiro da CAPES. A eles muito obrigada por acreditarem em mim e à CAPES pela minha aceitação no Programa.

Ao PIPGCF e às universidades UFSCar e UNESP por acreditar nesta aluna estrangeira e pelo apoio e acolhimento de todos os professores durante o doutorado.

Aos colegas da Fisiologia: Letícia, Vanessa, Fernando, Cilene, Guilherme, Ana, Rodrigo, Josiane, Camila, dentre outros, foi um enorme prazer conhecer vocês e compartilhar as aulas, os seminários e as divertidíssimas conversações em portunhol. Para todos vocês, sucessos pessoais e profissionais!

Ao Alexandre, o paciente secretário da Fisiologia, muito obrigada pela colaboração. Lembro-me de quando eu conseguia com dificuldade que você entendesse meus pedidos em portunhol. Por que será que você sempre conhecia meu sotaque ao telefone? (risos).

À Lucia, minha professora de pintura e às colegas do curso, obrigada por me ajudar a desenvolver grande sensibilidade e gosto pela pintura. Em suas aulas passei momentos sensacionais. Lucia, muito obrigada!

À Silvia e sua família, nossos amáveis vizinhos brasileiros, nosso muito obrigado por seu acompanhamento e vozes diárias de esperança. Nós temos muitos motivos para lembrar sua ajuda constante.

À comunidade do Colégio Cecília Meireles, pelo acolhimento que deram aos nossos filhos, lá eles viveram momentos inesquecíveis e fizeram grandes amigos. Obrigada!

Finalmente, mas não menos importante, um obrigado aos meus alunos, ex-alunos e colegas fisioterapeutas colombianos. Vocês têm me inspirado para avançar na pós-graduação. Este doutorado é para vocês e por vocês também.

A quem esqueci de mencionar, mil desculpas. Saiba que a minha omissão não foi intencional e que seu acompanhamento também tem sido de grande importância.

A todos muito obrigado por nos permitir reconhecer o poder infinito de Deus manifestado na presença de cada um de vocês nesta grata experiência.

*Esperanza, William, Sivia Juliana, Julian Andrés e Black Sheep (o cachorrinho), a sua família colombiana.*

## RESUMO

Esta tese apresenta três manuscritos derivados de dois projetos de pesquisa que foram desenvolvidos no doutorado. **Projeto 1. Objetivo:** Avaliar a confiabilidade intra e inter-avaliador dos testes de condução nervosa (TCN) nos nervos sural, peroneal superficial e plantar medial. **Métodos:** Dois examinadores realizaram duas vezes os TCN bilaterais em 20 participantes saudáveis ( $23,5 \pm 3,5$  anos). A confiabilidade foi analisada pelo método de Bland-Altman e o coeficiente de correlação intraclassa (ICC). **Resultados:** O método de Bland-Altman indicou um bom nível de concordância intra e inter-avaliador para todos os parâmetros dos TCN. Foram observados ICC intra-avaliador  $\geq 0,75$  para amplitude e latência do nervo plantar medial (avaliador 1) e para a amplitude do nervo sural (avaliador 2). A análise inter-avaliador mostrou níveis de concordância entre moderados e muito baixos. **Projeto 2. Objetivos:** a) Comparar os efeitos de três modalidades de crioterapia sobre os parâmetros de condução dos nervos tibial posterior (motor) e sural (sensorial) durante as fases de resfriamento e pós-resfriamento b) Analisar o efeito do exercício físico na recuperação da velocidade de condução nervosa (VCN) sensorial e motora. **Métodos:** Trinta e seis sujeitos jovens e saudáveis ( $20,5 \pm 1,9$  anos) foram alocados aleatoriamente em três grupos: criomassagem ( $n=12$ ), pacote de gelo ( $n=12$ ); imersão em água gelada ( $n=12$ ). Cada grupo recebeu uma das 3 modalidades de resfriamento na panturrilha direita, durante 15 min. Os sujeitos de cada grupo foram novamente aleatorizados para realizar uma atividade pós-resfriamento (30min de repouso ou 15min de marcha seguido de 15min de repouso). Avaliaram-se os parâmetros de condução nos TCN dos nervos sural e tibial posterior. **Resultados.** As três modalidades reduziram a amplitude e aumentaram a latência e duração do potencial de ação composto. Criomassagem, pacote de gelo e imersão em água gelada reduziram a VCN sensorial em 20,4, 16,7 e 22,6 m/s, e a VCN motora em apenas 2,5, 2,1 e 8,3 m/s, respectivamente. Imersão em água gelada, como usada neste estudo, foi a modalidade mais eficaz para alterar os parâmetros de condução nervosa. A marcha acelerou a recuperação da VCN sensorial e motora, independente da modalidade previamente aplicada ( $P < 0,0001$ ). **Conclusões.** Os TCN fornecem medidas quantitativas que subsidiam análises objetivas e úteis na avaliação dos efeitos

fisiológicos neurais da crioterapia. As 3 modalidades de resfriamento foram eficazes para alterar a condução sensorial e motora. Contudo, a magnitude e duração desses efeitos dependem do tipo de modalidade usada e da atividade que se realiza após o resfriamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Testes de condução nervosa. Velocidade de condução nervosa. Confiabilidade. Crioterapia. Terapia por frio. Agentes de resfriamento.

## ABSTRACT

This thesis presents three manuscripts derived of two research projects that were developed during the doctorate program. **Project 1. Purpose:** To determine the inter- and intra-rater reliability of nerve conduction studies (NCS) of superficial peroneal, sural and medial plantar nerves. **Methods:** Two raters performed the bilateral NCS twice in 20 healthy participants ( $23.5 \pm 3.5$  years). Reliability was analyzed by the Bland-Altman method and intraclass correlation coefficient (ICC). **Results:** The Bland-Altman method showed a good level of intra- and inter-rater agreement for all parameters nerves. The amplitude and latency of the medial plantar nerve (rater 1), as well the amplitude of the sural nerve (rater 2) had an intra-rater ICC  $\geq 0.75$ . Inter-rater analysis showed concordance levels between moderate and very low. **Project 2. Purposes:** a) To compare the effects of three cold modalities on the nerve conduction parameters of the sural (sensory) and tibial (motor) nerves during cooling and post-cooling phases b) To analyze the effect of exercise on recovery of sensory and motor nerve conduction velocity (NCV). **Methods:** Thirty six healthy young subjects ( $20.5 \pm 1.9$  years) were randomly allocated into three groups: ice massage (n=12), ice pack (n=12) and cold water immersion (n=12). Each group received 1 of the 3 cold modalities on the right calf region for 15 minutes. The subjects of each modality group were again randomized to perform a post-cooling activity (30 min rest or walk 15 min followed by rest 15min). Nerve conduction parameters of sural and posterior tibial nerves were evaluated. **Results:** All 3 modalities reduced amplitude and increased latency and duration of the compound action potential. Ice massage, ice pack, and cold water immersion reduced NCV by 20.4, 16.7, and 22.6 m/s and motor NCV by 2.5, 2.1, and 8.3 m/s, respectively. Cold water immersion, as applied in this study, was the most effective modality in changing nerve conduction parameters. The walk accelerated the recovery of sensory and motor NCV, regardless of the modality previously applied ( $p < 0.0001$ ). **Conclusions:** The NCS provides quantitative measures that contribute to the objective analysis of neural physiological effects of cryotherapy. All 3 modalities were effective in altering sensory and motor nerve conduction. However, the magnitude and duration of these effects depend on the method applied and the activity after cooling.

**KEY WORDS:** Nerve conduction studies. Nerve conduction velocity. Reliability. Cryotherapy. Cold therapy. Cooling agents.

## SUMÁRIO

	P
<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>1. CONFIABILIDADE INTRA E INTER-AVALIADOR DOS TESTES DE CONDUÇÃO DOS NERVOS SURAL, PERONEAL SUPERFICIAL E PLANTAR MEDIAL. PROJETO 1.</b>	<b>19</b>
1.1 Contextualização	20
1.2 Manuscrito 1. Confiabilidade dos testes de condução dos nervos peroneal superficial, sural e plantar medial: Análise dos métodos estatísticos	32
<b>2. EFEITOS DA CRIOTERAPIA NA CONDUÇÃO NERVOSA SENSORIAL E MOTORA. PROJETO 2</b>	<b>56</b>
2.1 Contextualização	57
2.2 Manuscrito 2. A Condução nervosa sensorial e motora é afetada diferencialmente por pacote de gelo, criomassagem e imersão em água gelada	61
2.3 Manuscrito 3. Efeito da marcha e do repouso após aplicação de três protocolos de crioterapia na recuperação da velocidade de condução sensorial e motora em sujeitos saudáveis	84
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E OUTRAS EXPERIÊNCIAS NO DOUTORADO</b>	<b>104</b>
	<b>106</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO 1. Herrera E, Camargo DM, Delgado DC, Salvini TF. Reliability of superficial peroneal, sural and medial plantar nerve conduction studies: analysis of statistical methods. J Clin	

Neurophysiol 2009; 26: 295-380.

ANEXO 2. Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM, Salvini TF.  
Motor and sensory nerve conduction are affected differently by  
ice pack, ice massage and cold water immersion. Phys Ther 2010;  
90: 581-591



## APRESENTAÇÃO

Esta tese apresenta os produtos acadêmicos de dois projetos de pesquisa que foram desenvolvidos durante meu doutorado sob a orientação da Profa. Dra. Tania de Fátima Salvini.

O primeiro projeto teve como objetivo avaliar a confiabilidade intra e entre avaliadores para realização do teste de condução nos nervos sural, peroneal superficial e plantar medial. Este estudo deu origem ao primeiro manuscrito intitulado *Reliability of Superficial Peroneal, Sural, and Medial Plantar Nerve Conduction Studies: Analysis of Statistical Methods*, publicado no *Journal of Clinical Neurophysiology* em Outubro de 2009.

Posteriormente, foi realizado outro estudo com o objetivo de avaliar os efeitos de três modalidades de crioterapia sobre a velocidade de condução dos nervos tibial posterior e sural durante a fase de resfriamento e pós-resfriamento. Na metodologia desse estudo foi aplicado o teste de condução nervosa (TCN), cuja confiabilidade foi analisada no primeiro estudo. Os resultados deste segundo estudo foram publicados no *Journal of Physical Therapy*, em Abril de 2010: *Motor and Sensory Nerve Conduction are Affected Differently by Ice Pack, Ice Massage and Cold Water Immersion*. Além disso, um terceiro manuscrito foi elaborado e submetido para publicação na Revista Brasileira de Fisioterapia, intitulado: *Efeito da marcha e do repouso após aplicação de três protocolos de crioterapia na recuperação da velocidade de condução sensorial e motora em sujeitos saudáveis*.

Esta tese está dividida em três capítulos, sendo que os dois primeiros apresentam a contextualização de cada um dos projetos e os artigos derivados deles. No terceiro capítulo são apresentadas algumas considerações finais e outras experiências acadêmicas durante o desenvolvimento do doutorado.

**CAPÍTULO 1.**

**CONFIABILIDADE INTRA E INTER-AVALIADOR DOS TESTES DE CONDUÇÃO  
DOS NERVOS SURAL, PERONEAL SUPERFICIAL E PLANTAR MEDIAL.**

**PROJETO 1**

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O teste de condução nervosa (TCN) consiste em um componente importante do exame eletrodiagnóstico comumente utilizado a partir dos anos 50 para diagnosticar neuropatias e suas complicações, analisar a evolução clínica do comprometimento e estabelecer a efetividade de algumas intervenções terapêuticas mediante a realização de avaliações sucessivas.<sup>1-11</sup> Devido à sua objetividade, também tem sido utilizada como medida padrão-ouro para validação de outros testes diagnósticos.<sup>10-14</sup>

No âmbito específico da Fisioterapia, os TCN têm sido utilizados para análise dos efeitos fisiológicos e terapêuticos de alguns recursos físicos, a partir de avaliações consecutivas realizadas nos sujeitos que encontram-se sob intervenção.<sup>15-21</sup> Essas avaliações proporcionam medidas quantitativas que subsidiam análises objetivas, baseadas na comparação dos parâmetros eletrofisiológicos registrados antes e após a intervenção. Contudo, existem vários fatores que poderiam alterar a confiabilidade dos resultados e ocasionar conclusões imprecisas sobre os efeitos avaliados.<sup>1,5-7,22,23</sup> Portanto, antes de sua aplicação neste tipo de investigação, é necessário estabelecer uma padronização cuidadosa das técnicas de registro e verificar a variabilidade derivada do processo de medida, assim como a confiabilidade dos testes conduzidos por um único avaliador ou por avaliadores diferentes.<sup>22</sup>

A seguir são apresentados alguns aspectos gerais dos TCN relacionados aos tipos de testes, parâmetros avaliados e fatores técnicos e fisiológicos que afetam a confiabilidade dos dados. No final da contextualização é apresentada uma síntese de estudos relativos à confiabilidade dos TCN, assim como a justificativa e os objetivos deste primeiro projeto.

### **Tipos de testes de condução nervosa**

Os TCN consistem na estimulação de um nervo e a captação do potencial de ação gerado pelas fibras ativadas, em alguma parte de seu curso anatômico.<sup>1</sup> De acordo com o tipo de nervo analisado, existem três tipos de TCN: a) teste de condução de nervo sensorial, b) teste de condução de nervo motor e c) teste de condução de nervo misto. Os TCN mais usados são os dois primeiros, por serem mais específicos.<sup>1,8</sup>

O TCN sensorial consiste na estimulação de um nervo periférico sensorial e a captação do potencial de ação sensorial composto (PASC) diretamente nas fibras sensoriais que foram estimuladas<sup>4</sup> (Figura 1). Esse teste pode ser realizado a partir de um método ortodrômico ou antidrômico. No primeiro caso, a estimulação é realizada em um ponto distal do nervo e a captação do PASC em um ponto proximal, seguindo a direção fisiológica de condução dos impulsos nervosos nas fibras sensoriais. No método antidrômico a disposição dos eletrodos é invertida.<sup>1,4,8</sup>

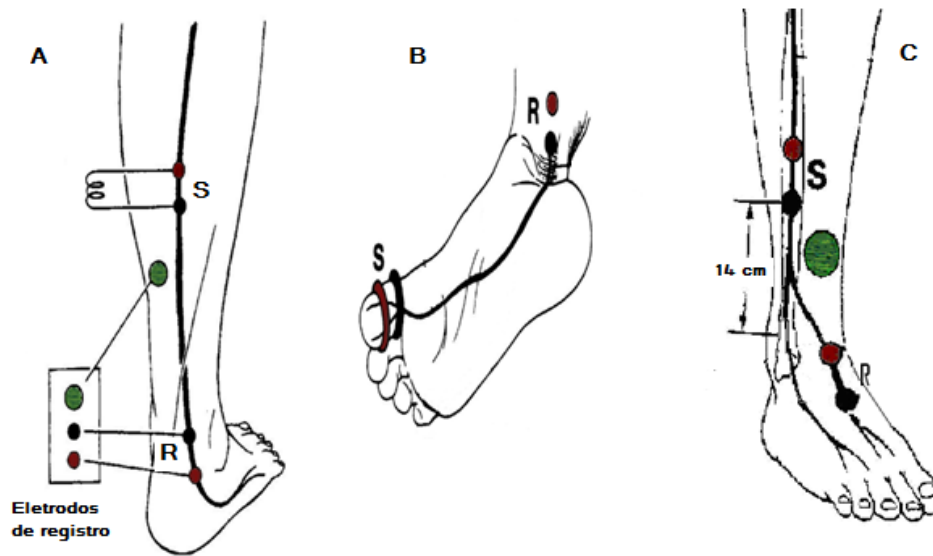


Figura 1. Testes de condução sensorial: A. Nervo sural (antidrômico) B. Nervo Plantar Medial (Ortodrômico) C. Nervo Peroneal Superficial (antidrômico). S: estímulo; R: registro

Os parâmetros analisados no TCN sensorial são: latência - que corresponde ao tempo de condução entre o estímulo e a captação da resposta ou PASC, VCN - que resulta da relação entre a distância entre os eletrodos de estimulação e registro e a latência, amplitude do PASC - usualmente registrada de pico a pico do potencial e duração - medida do início ao fim do PASC.<sup>1,4,8</sup>

O TCN motor é realizado a partir de um método indireto, uma vez que a estimulação é feita no nervo e o registro em um músculo inervado pelo nervo estimulado (Figura 2). Portanto, a resposta registrada neste teste corresponde ao potencial de ação muscular composto (PAMC).<sup>1,3,8</sup>

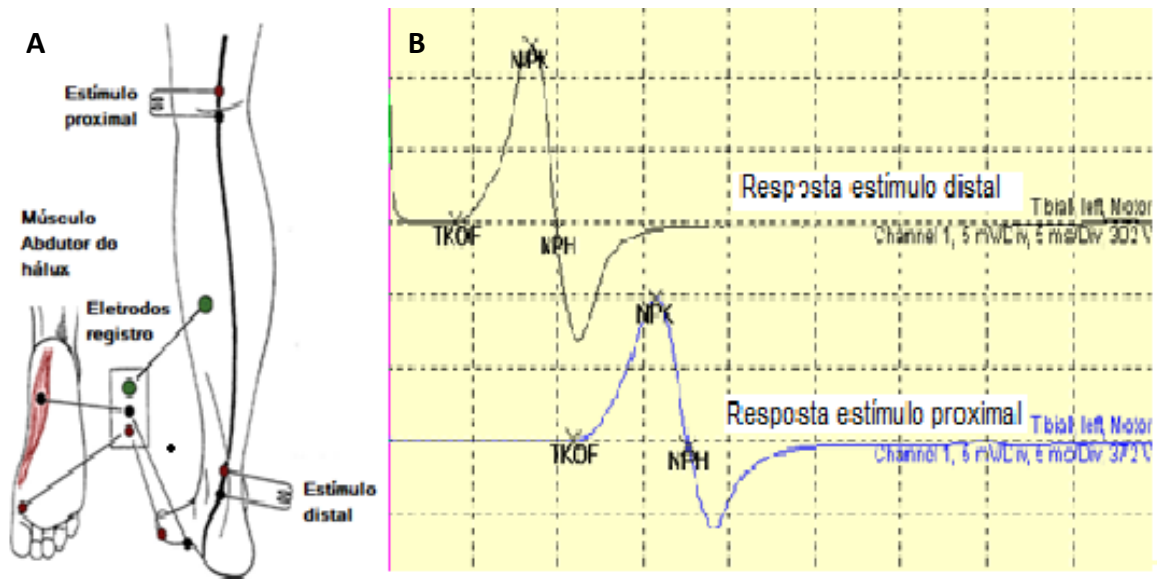


Figura 2. Teste de condução no nervo tibial posterior motor: A. Locais de estimulação distal e proximal no nervo e de registro no músculo abdutor do hálux; B. Registros correspondentes ao potencial de ação muscular composto.

Para determinar o tempo de condução do impulso no nervo motor são necessários ao menos dois registros, sendo um obtido por estímulo distal e outro por estímulo proximal.<sup>1</sup> Assim, o tempo de condução do nervo motor é calculado a partir da subtração da latência proximal da latência distal. Essa diferença suprime o tempo de transmissão do impulso elétrico entre o nervo e o músculo e representa o tempo real que o nervo leva para conduzir o impulso entre os dois locais de estimulação. Em consequência, a VCN é calculada a partir da divisão da distância entre os dois pontos de estimulação pela diferença da latência distal - latência proximal.<sup>1,3,8</sup>

Finalmente, o TCN misto consiste na estimulação distal de um nervo misto e o registro do potencial de ação diretamente sobre a parte proximal desse nervo.<sup>1</sup>

### Parâmetros de condução nervosa

Os principais parâmetros analisados nos TCN são a latência, amplitude, duração e VCN. A latência é o tempo que o nervo demora em conduzir um impulso elétrico. Usualmente é medida em milissegundos, desde o início do estímulo até o início da resposta ou potencial de ação. A VCN é calculada a partir da latência, como já mencionado, e sua unidade de medida é

metros/segundo. Esses parâmetros representam as características de condução das fibras mais rápidas do nervo.<sup>1,8</sup>

A amplitude do potencial de ação representa o número aproximado de fibras nervosas (PASC) ou musculares (PAMC) que respondem ao estímulo nervoso. Pode ser medida desde a linha de base até o pico negativo do potencial ou desde o pico positivo até o pico negativo. A unidade de medida da amplitude do PASC é o microvolt e a do PAMC, o milivolt.<sup>1,8</sup>

A duração pode ser medida desde o início até o fim da onda negativa do potencial ou desde seu início até o final de todo o potencial, caso seja bifásico ou trifásico. Sua unidade de medida é milissegundo e representa a sincronia de descarga das fibras nervosas.<sup>1,8</sup>

### **Fatores que afetam os TCN**

Os parâmetros de condução variam por influência de fatores técnicos e fisiológicos. Os primeiros são a principal fonte de variabilidade dos TCN, mas podem ser controlados facilmente a partir de uma padronização cuidadosa das técnicas de registro.<sup>1</sup>

Os fatores técnicos se relacionam com: a) método de registro (antidrômico e ortodrômico, no caso do TCN sensorial); b) tamanho e tipo dos eletrodos (superfície e de agulha) usados para estimular e registrar o potencial de ação; c) intensidade e duração do estímulo, que podem ser insuficientes para alcançar uma amplitude adequada do potencial de ação ou excessivas, ocasionando ativação das fibras nervosas vizinhas; d) distância entre o eletrodo e a fonte geradora do potencial (nervo ou músculo) com consequências na amplitude do potencial, uma vez que os TCN registrados na superfície corporal são obtidos em um condutor de volume; e) erros na medida da distância entre os eletrodos e da latência, com implicações importantes no cálculo da VCN; e f) variação da temperatura do ambiente, uma vez que afeta a temperatura da pele do sujeito avaliado.<sup>1,4,6-8,24</sup>

Os principais fatores fisiológicos que determinam a variabilidade dos parâmetros derivados dos TCN são: a) temperatura da pele - tem efeitos importantes em todos os parâmetros, devido às mudanças na condutividade dos canais de sódio e potássio;<sup>25,31</sup> b) variações anatômicas do percurso dos nervos e da inervação - podem causar interpretações clínicas incorretas;<sup>32-36</sup> c) idade - devido às mudanças fisiológicas na mielinização durante o

ciclo vital;<sup>37-39</sup> d) estatura e outros fatores antropométricos relacionados ao gênero - produzem diferenças na amplitude e na VCN;<sup>40-42</sup> e) segmento do nervo (proximal e distal) - pelas mudanças da espessura da bainha de mielina nas fibras e das distâncias inter nodais ao longo do nervo.<sup>43,44</sup>

### **Confiabilidade dos TCN**

A avaliação de um teste diagnóstico implica em analisar as suas propriedades fundamentais: confiabilidade, validade e sensibilidade à mudança.<sup>45</sup> Nesta perspectiva, a avaliação da confiabilidade é fundamental no processo de validação dos testes diagnósticos, pois reflete a quantidade de erro aleatório e sistemático inerente a qualquer processo de medição. Várias fontes de variabilidade que deveriam ser controladas corretamente podem afetar a confiabilidade das medidas repetidas, incluindo o instrumento, o ambiente, o examinador e as características próprias do indivíduo.<sup>22</sup>

De forma geral, os métodos analíticos utilizados para determinar a confiabilidade dos testes diagnósticos apresentam limitações relacionadas à sua aplicação e interpretação no âmbito clínico. As pesquisas que avaliaram confiabilidade dos TCN têm utilizado diversos métodos estatísticos, sendo o coeficiente de correlação intraclassa (ICC – *Intraclass Correlation Coefficient*) o mais aplicado para determinação da concordância intra<sup>46,47</sup> e inter avaliadores<sup>47- 50</sup> (Tabela 1). Outros testes analíticos utilizados são: coeficiente de variação (CV),<sup>51-54</sup> ANOVA,<sup>55,56</sup> variação relativa inter-teste<sup>49</sup> e o coeficiente de repetibilidade.<sup>50</sup> O método de Bland-Altman, o qual determina o nível de concordância entre duas medidas ou instrumentos, foi apenas recentemente usado por Kong et al<sup>57</sup> e Loseth et al.<sup>58</sup> Do ponto de vista clínico, a aplicação desse método tem algumas vantagens sobre o ICC, porque seus resultados são expressos nas mesmas unidades de medida da variável original, permitindo analisar se as diferenças observadas entre as medidas repetidas são clinicamente relevantes ou simplesmente correspondem ao erro da medida.<sup>46</sup>

A revisão da literatura permite afirmar que embora alguns aspectos relacionados à confiabilidade dos TCN tenham sido considerados, a comparação de estudos prévios é complexa devido às diferenças e limitações dos métodos analíticos aplicados. Além disso, a confiabilidade dos TCN tem sido investigada principalmente nos nervos motores e nas

extremidades superiores (Tabela 1). Para o nosso conhecimento, a confiabilidade do teste de condução do nervo plantar medial foi pouco estudada<sup>58</sup> e a confiabilidade do mesmo teste realizado no nervo peroneal superficial ainda não foi investigada. Além disso, poucos estudos de confiabilidade do nervo sural utilizando o ICC encontram-se disponíveis na literatura<sup>49</sup>, sendo que nenhum estudo fez uso do método de Bland-Altman.

O objetivo principal do estudo, apresentado a seguir, foi determinar a confiabilidade intra e inter-avaliadores dos testes de condução do nervo sural, peroneal superficial e plantar medial, obtidos em indivíduos jovens e saudáveis. Este estudo contribuiu para a discussão sobre as aplicações e interpretações dos métodos analíticos que avaliam a confiabilidade. Os dados obtidos na presente pesquisa serviram de referência para avaliar os efeitos fisiológicos da crioterapia na condução nervosa, objeto de estudo do segundo artigo que compõe esta tese.



**Tabela 1. Estudos de confiabilidade dos testes de condução nervosa**

Estudos	Nervos	Método de Análises
Dyck et al, 1991 <sup>48</sup>	Ulnar, Mediano, Peroneal e Tibial (Motor)	ICC
Chaudhry et al, 1991 <sup>55</sup>	Mediano e sural (Sensorial) Peroneal e Mediano (Motor)	ANOVA
Bleasel et al, 1991 <sup>51</sup>	Mediano, Ulnar e poplíteo lateral (Motor). Mediano, Ulnar e Sural (Sensorial)	DP, CV.
Chaudhry et al, 1994 <sup>56</sup>	Sural e Mediano (Sensorial)	ANOVA.
Bril et al, 1998 <sup>52</sup>	Mediano (motor e sensorial), Peroneal (Motor), Sural	CV
Salerno et al, 1999 <sup>47</sup>	Mediano e Ulnar	ICC
Kohara et al, 2000 <sup>49</sup>	Mediano e Tibial (motor) Mediano e Sural (sensorial).	VRI, ICC
Kimura et al, 2001 <sup>59</sup>	Mediano e Tibial (motor) Mediano e Sural (sensorial)	VRI, ICC
Schuhfried et al, 2005 <sup>50</sup>	Ulnar (sensorial)	ICC, CR
Lew et al, 2005 <sup>54</sup>	Mediano e Ulnar	CV
Kong et al, 2006 <sup>57</sup>	Mediano e ulnar (sensorial)	ICC, BA
Løseth et al, 2007 <sup>58</sup>	Plantar Medial (Ortodrômico)	BA

ICC: Coeficiente de Correlação Intraclasse; ANOVA: Análise de Variância; DP: Desvio-Padrão; CV: Coeficiente de Variação; VRI: Variação Relativa Inter-Teste; CR: Coeficiente de Repetibilidade; BA: Método de Bland-Altman.

## REFERÊNCIAS

1. Oh SJ. In: Sydor AM, ed. *Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2003: 816.
2. Gilchrist J, Sachs G. Electrodiagnostic studies in the management and prognosis of neuromuscular disorders. *Muscle Nerve*. 2004; 29: 165-190
3. Chémali K, Tsao B. Electrodiagnostic testing of nerves and muscles: When, why, and how to order. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. 2005; 72: 37-48
4. Wilbourn AJ. Sensory nerve conduction studies. *J Clin Neurophysiol*. 1994; 11(6):584-601
5. Kimura J. Principles and pitfalls of nerve conduction studies. *Annals Neurology*. 1984; 16: 415-429
6. Kimura J. Facts, fallacies, and fancies of nerve conduction studies: twenty-first annual Edward H Lambert lecture. *Muscle Nerve*. 1997; 20: 777-787
7. Herrera E, Camargo DM. Factores que afectan la conducción nerviosa central y periférica. *Salud UIS*. 1998; 29: 57 – 64
8. Kimura J. Principles and variations of nerve conduction studies. Principles and practice. In: Kimura J, ed. *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle*. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2001: 91–117
9. Carrington AL, Shaw JE, van Schie HM, Abbott CA, Vileikyte L, Boulton A. Can motor nerve conduction velocity predict foot problems in diabetic subjects over a 6 – year outcome period? *Diabetes Care*. 2002; 25: 2010 – 2015
10. Valk GD, Grootenhuis PA, van Eijk J, Bouter LM and Bertelsmann FW. Methods for assessing diabetic polyneuropathy: validity and reproducibility of the measurement of sensory symptom severity and nerve function tests. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2000; 47: 87–95
11. Lefaucheur JP, Creange A. Neurophysiological testing correlates with clinical examination according to fibre type involvement and severity in sensory neuropathy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2004; 75:417–422
12. Shin JB, Seong YJ, Lee HJ, Kim SH, Park JR. Foot screening technique in a diabetic population. *Journal Korean Med Science*. 2000; 13: 78 – 82
13. Olaleye D, Perkins B, Bril V, Evaluation of three screening test and a risk assessment model for diagnosing peripheral neuropathy in the diabetes clinic. *Diabetes Research and clinical practice*. 2001; 54: 115 – 128

14. Sangyeoup L, Hyeunho K, Sanghan C, Yongsoon P, Yunjin K, Byeungman C. Clinical usefulness of the two-site Semmes Weinstein monofilament test for detecting diabetic peripheral neuropathy. *J Korean Medical Science*. 2003; 18: 103-107
15. Lee JM, Warren MP, Mason SM. Effects of ice on nerve conduction velocity. *Physiotherapy*. 1978; 64: 2-6
16. Bakhtiary AH, Rashidy-Pour A. Ultrasound and laser therapy in the treatment of carpal tunnel syndrome. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2004; 50: 147–151
17. Kramer JF. Sensory and motor nerve conduction velocities following therapeutic ultrasound. *Australian Journal of Physiotherapy*. 1987; 33: 235-243.
18. Zhou L, Shao Z, Ou S. Cryoanalgesia: electrophysiology at different temperatures. *Cryobiology*. 2003; 46: 26–32
19. Oztas O, Turan B, Bora I, Karakaya MK. Ultrasound therapy effect in carpal tunnel syndrome. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1998; 79 (12): 1540-1544
20. Naeser MA, Hahn K, Lieberman BE, Branco K. Carpal tunnel syndrome pain treated with low-level laser and microamperes transcutaneous electric nerve stimulation: A controlled study *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2002; 83: 978-988
21. Walsh DM, Lowe AS, McCormack K, Willer JC, Baxter D, Allen JM. Transcutaneous electrical nerve stimulation: Effect on peripheral nerve conduction, mechanical pain threshold, and tactile threshold in humans. *Arch Physical Med Rehabil*. 1998; 79 (9): 1051-1058
22. Domholdt E. Measurement Theory. In: *Rehabilitation Research Principles and Applications*. Third edition. Elsevier Saunders. 2004. p. 245-274
23. Keating J, Matyas T. Unreliable inferences from reliable measurements. *Aust J Physiother*. 1998; 44: 5–10.
24. Chodoroff G, Tashjian EA, Ellenberg MR. Orthodromic vs antidromic sensory nerve latencies in healthy persons. *Arch Physical Med Rehabil*. 1985; 66: 589-591
25. Greathouse DG, Currier DP, Joseph BS, Shippee RL, Matulionis DH. Electrophysiologic responses of human sural nerve to temperature. *Phys Ther*. 1989; 69: 914-922
26. Dioszeghy P, Stalberg E. Changes in motor and sensory nerve conduction parameters with temperature in normal and diseased nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1992; 85: 229-35
27. Halar EM, DeLisa JA, Brozovich FV. Nerve conduction velocity: relationship of skin subcutaneous and intramuscular temperatures. *Arch Phys Med Rehabil*. 1980; 61: 199-203

28. Halar EM, Delisa JA, Brozovich FV. Peroneal Nerve Conduction Velocity: The importance of temperature correction. *Arch Phys Med Rehabil.* 1981; 62: 439-443
29. Halar EM, DeLisa JA, Soine TL. Nerve conduction studies in upper extremities: skin temperature corrections. *Arch Phys Med Rehabil.* 1983; 64: 412-416
30. Kiernan MC, Cikurel K, Bostock H. Effects of temperature on the excitability properties of human motor axons. *Brain.* 2001; 124: 816-825
31. Bolton CF, Sawa GM, Carter K. The effects of temperature on human compound action potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1981; 44: 407-413
32. Shu HS, Chantelot C, Oberlin, C, Alnot J.Y and Shao H. Martin-Gruber communicating branch: anatomical and histological study. *Surg Radiol Anat.* 1999; 21: 115-118
33. Amoiridis G, Vlachonikolis I. Verification of the median to ulnar and ulnar to median nerve motor fiber anastomosis in the forearm: an electrophysiological study. *Neurophysiol Clin.* 2003; 114: 94-98
34. Uchida Y, Sugioka Y. Electrodiagnosis of Martin-Gruber connection and its clinical importance in peripheral nerve surgery. *J Hand Surg.* 1992; 17A: 54-59
35. Erdem HR, Ergun S, Erturk C, Ozel S. Electrophysiological evaluation of the incidence of Martin-Gruber anastomosis in healthy subjects. *Yonsei Medical Journal.* 2002; 43: 291-295
36. Herrera E, Anaya C, Abril AM, Lozano WM, Avellaneda YC, Cruz AM. Anastomosis Martin-Gruber: Aspectos anatómicos y electrofisiológicos. *Salud UIS.* 2009; 41: 157-168
37. Hyllienmark L, Ludvigsson J, Brismar T. Normal values of nerve conduction in children and adolescents. *Electroenceph Clin Neurophysiol.* 1995; 97: 208-214
38. Dorfman LJ, Bosley TM. Age-related changes in peripheral and central nerve conduction in man. *Neurology.* 1979; 29: 38-44
39. Izzo KL, Aravabhumi S, Jafri A, Sobel E, Demopoulos JT. Medial and lateral antebrachial cutaneous nerves: standardization of technique, reliability and age effect on healthy subjects. *Arch Physical Med Rehabil.* 1985; 66: 592-597
40. Robinson L, Rubner D, Wahl P, Fujimoto W, Stolov W. Influences of height and gender on normal nerve conduction studies. *Arch Physical Med Rehabil.* 1993; 74: 1134-1138
41. Soudmand R, Ward C, Swift T. Effect of height on nerve conduction velocity. *Neurology.* 1982; 32: 408-410
42. Bolton CF, Carter KM. Human sensory nerve compound action potential amplitude: variation with sex and finger circumference. *J Neurol, Neurosurg & Psych.* 1980; 43: 925-928

43. Behse F, Buchthal F. Normal sensory conduction in the nerves of the leg in man. *J Neurol, Neurosurg & Psych.* 1971; 34: 404-414
44. Trojaborg W. Motor nerve conduction velocities in normal subjects with particular reference to the conduction in proximal and distal segments of median and ulnar nerve. *Electroenceph Clin Neurophysiol.* 1964; 17: 314-321
45. Streiner DL, Norman GR. *Health Measurement Scales: A Practical Guide to Their Development and Use* New York: Oxford University Press. 2003; 296 p
46. Bland JM, Altman DG. Statistical Methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986; 8: 307-310
47. Salerno DF, Werner RA, Albers JW, Becker MP, Armstrong TJ, Franzblau A. Reliability of nerve conduction studies among active workers. *Muscle Nerve.* 1999; 22: 1372-79
48. Dyck PJ, Kratz KM, Lehman KA, Karnes JL, Melton LJ, O'Brien PC, et al. The Rochester diabetic neuropathy study: design, criteria for types of neuropathy, selection bias, and reproducibility of neuropathic tests. *Neurology.* 1991; 41: 799-807
49. Kohara N, Kimura J, Kaji R, Goto Y, Ishii J, Takiguchi M, et al. F-wave latency serves as the most reproducible measure in nerve conduction studies of diabetic polyneuropathy: multicentre analysis in healthy subjects and patients with diabetic polyneuropathy. *Diabetologia.* 2000; 43: 915-921
50. Schuhfried O, Angst M, Herceg M, Paternostro-Sluga T. Interexaminer repeatability of antidromic ulnar sensory nerve conduction velocity measurements. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86: 2047-50
51. Bleasel AF, Tuck RR. Variability of repeated nerve conduction studies. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1991; 81: 417-420
52. Bril V, Ellison R, Ngo M, Bergstrom B, Raynard D, Gin H, et al. Electrophysiological monitoring in clinical trials. *Muscle Nerve.* 1998; 21: 1368-73
53. Halar EM, Venkatesh B. Nerve conduction velocity measurements: two point improved accuracy using superimposed response waves. *Arch Phys Med Rehabil.* 1976; 57: 451-457.
54. Lew HL, Date ES, Pan SS, Wu P, Ware PF, Kingery WS. Sensitivity, specificity, and variability of nerve conduction velocity measurements in carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86: 12-16
55. Chaudhry V, Cornblath DR, Mellits ED, Avila O, Freimer ML, Glass JD, et al. Inter- and intra examiner reliability of nerve conduction measurements in normal subjects. *Ann Neurol.* 1991; 30: 841-843

56. Chaudhry V, Corse A M, Freimer M L, Glass JD, Mellits ED, Kuncel RW, et al. Inter- and intraexaminer reliability of nerve conduction measurements in patients with diabetic neuropathy. *Neurology*. 1994; 44: 1459- 1462
57. Kong X, Gozani SN, Hayes MT, Weinberg DH. NC-stat sensory nerve conduction studies in the median and ulnar nerves of symptomatic patients. *Clin Neurophysiol*. 2006; 117: 405–413
58. Løseth S, Nebuchennykh M, Stålberg E, Mellgren SI. Medial plantar nerve conduction studies in healthy controls and diabetics. *Clin Neurophysiol*. 2007; 118: 1155–1161
59. Kimura J. Long and short of nerve conduction measures: reproducibility for sequential assessments. *Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2001; 71: 427-430

## 1.2 MANUSCRITO 1.

### **CONFIABILIDADE DOS TESTES DE CONDUÇÃO DOS NERVOS PERONEAL SUPERFICIAL, SURAL E PLANTAR MEDIAL: ANÁLISE DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS.**

Herrera E, Camargo DM, Delgado DC, Salvini TF. Reliability of superficial peroneal, sural, and medial plantar nerve conduction studies: analysis of statistical methods. *J Clin Neurophysiol.* 2009;26:295–380. Artigo publicado em Periódico internacional indexado (B1 Medicina I e II/WebQualis CAPES).

Esperanza Herrera,\* Diana M. Camargo,\* Diana C. Delgado,\* and Tania F. Salvini†

\*Escuela de Fisioterapia, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.

†Departamento de Fisioterapia, Unidade de Plasticidade Músculo Esquelética, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.

**Correspondência:** Esperanza Herrera Villabona, Escuela de Fisioterapia, Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia. Telefone e Fax: +057-6358582. e-mail: [eshevi@uis.edu.co](mailto:eshevi@uis.edu.co)

**Título abreviado:** Confiabilidade da Condução Nervosa Sensorial

## RESUMO

A confiabilidade dos testes de condução nervosa (TCN) dos nervos plantar medial, sural e peroneal superficial não foi amplamente estudada. Esses nervos são geralmente envolvidos na neuropatia sensorial distal e os testes realizados de maneira sequencial são relevantes no contexto clínico. **Objetivo:** determinar a confiabilidade intra e inter-avaliadores dos testes de condução dos nervos peroneal superficial, sural e plantar medial em sujeitos saudáveis. **Métodos:** dois examinadores realizaram duas vezes os TCN bilaterais em 20 participantes saudáveis ( $23,5 \pm 3,5$  anos). A confiabilidade foi analisada pelo método de Bland-Altman e o coeficiente de correlação intraclassa (ICC). A variabilidade foi determinada pelo coeficiente de variação. **Resultados:** o método de Bland-Altman indicou um bom nível de concordância intra e inter-avaliadores para os registros dos parâmetros de todos os nervos. Foram observados ICC intra-avaliador  $\geq 0,75$  para amplitude e latência do nervo plantar medial (avaliador 1) e para a amplitude do nervo sural (avaliador 2). A análise inter-avaliadores mostrou níveis de concordância classificados entre as categorias moderado e muito baixo. Os maiores coeficientes de variação foram encontrados para amplitude e os menores para velocidade de condução nervosa. **Conclusões:** Embora o método de Bland-Altman tenha indicado boa confiabilidade intra e inter-avaliadores dos nervos estudados, as análises do ICC mostraram resultados mistos. Estes métodos estatísticos são complementares e cada um deles tem vantagens e desvantagens que devem ser consideradas na sua aplicação e interpretação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Testes de condução nervosa. Velocidade de condução nervosa. Método de Bland-Altman. Confiabilidade. Concordância.



O registro do potencial de ação nervoso sensorial (PANS) é um componente importante do exame eletro diagnóstico. Esse registro tem sido amplamente utilizado desde a década de 50 para determinar o grau de anormalidade em algumas neuropatias e os respectivos procedimentos clínicos. Os testes de condução nervosa (TCN) também são utilizados para determinar a eficácia de algumas intervenções terapêuticas (Honet et al., 1968; Karsidag et al., 2005; Kohara et al., 2000) e para validar outros testes diagnósticos (Valk et al., 1997). No entanto, várias fontes de erro devem ser devidamente controladas para aumentar a confiabilidade das medidas sucessivas, como: o instrumento, o ambiente, os avaliadores e as características dos participantes (Domholdt, 2005). A variabilidade dos parâmetros de condução nervosa depende de fatores técnicos e fisiológicos. Os fatores técnicos referem-se ao método de registro, tipo de eletrodo, intensidade do estímulo, temperatura ambiente e distância entre os eletrodos de estimulação e de captação (Chodoroff et al., 1985; Kimura, 2001; Maynard e Stolov, 1972; Schuchmann, 1977). Os fatores fisiológicos compreendem a temperatura da pele, as variações anatômicas (Oh, 2003), a idade, a altura e outros fatores antropométricos relacionados ao gênero (Bolton e Carter, 1980; Dorfman e Bosley, 1979).

A avaliação dos testes de diagnóstico inclui a investigação de sua confiabilidade, validade e sensibilidade à mudança (Streiner e Norman, 2003). Vários termos têm sido relacionados à confiabilidade como concordância, variabilidade, precisão, reprodutibilidade e repetibilidade. Esses termos são às vezes utilizados como sinônimos, mas apenas alguns deles têm uma definição formal (Hinderer e Hinderer, 2005). Neste estudo, o termo confiabilidade refere-se à consistência ou estabilidade da medida ao longo do tempo, dos participantes e dos examinadores. Também se refere ao grau em que as medidas são livres de erros e ao grau em que as medições repetidas irão concordar (McDowell, 2006). A teoria clássica dos testes considera o valor obtido de qualquer medida como uma combinação de dois componentes: um valor verdadeiro subjacente à medida e um grau de erro, tanto aleatório quanto sistemático. Portanto, um erro pequeno indica que a medida é mais confiável (Domholdt, 2005).

Em geral, os métodos estatísticos disponíveis para analisar a confiabilidade dos testes diagnósticos não foram totalmente desenvolvidos e várias limitações são encontradas para a interpretação analítica e clínica dos métodos existentes (Rankin e Stokes, 1998; Streiner e Norman, 2003). Assim, o coeficiente de correlação intraclassa (ICC – *Intraclass Correlation*

*Coefficient*) pode ser aplicado para analisar a confiabilidade de dados determinados em amostras pequenas, dados obtidos em mais de duas ocasiões e dados registrados em escala ordinal ou de razão. No entanto, é reconhecido que a utilização isolada do ICC para análise da confiabilidade não é suficiente porque, se a amostra é homogênea, o seu valor pode ser baixo, mesmo que exista um bom nível de concordância (Lexell e Downham, 2005).

Uma forma alternativa para avaliar a confiabilidade é determinar a concordância intra e inter-avaliadores pelo método de Bland-Altman. Esse método é uma técnica gráfica simples, que utiliza cálculos estatísticos elementares e permite estabelecer diferenças sistemáticas entre duas medidas (Bland e Altman, 1986, 2007). É importante considerar que os dados obtidos com este método são determinados na mesma escala que as variáveis originais, permitindo definir se as diferenças detectadas entre as medições são, ou não, clinicamente relevantes (Lexell e Downham, 2005).

No que se refere aos métodos estatísticos de análise da confiabilidade dos registros sucessivos dos TCN, alguns estudos utilizaram o ICC para determinar a confiabilidade intra- (Salerno et al. 1999) e inter-avaliadores (Dyck et al., 1991; Kohara et al., 2000; Salerno et al., 1999; Schuhfried et al., 2005). Além disso, vários pesquisadores têm aplicado o coeficiente de variação (CV) para analisar a variabilidade das medidas (Bleasel e Tuck, 1991; Bril et al., 1998; Halar e Venkatesh, 1976; Lew et al., 2005). Outros métodos estatísticos relatados na literatura são a análise de variância (Chaudhry et al., 1991, 1994), a variação relativa inter-testes (Kohara et al., 2000), o coeficiente de repetibilidade (Schuhfried et al. 2005) e o método de Bland-Altman, que foi aplicado apenas por Kong et al. (2006) e Løseth et al. (2007). Não é fácil comparar os resultados de confiabilidade dos TCN relatados nesses estudos visto que as diferenças nos métodos estatísticos usados, o tamanho e os atributos das amostras usadas devem ser considerados.

No nosso conhecimento, a confiabilidade do estudo de condução do nervo plantar medial tem sido pouco estudada (Løseth et al., 2007) e a confiabilidade deste mesmo teste para o nervo peroneal superficial ainda não foi investigada. Além disso, poucos estudos de confiabilidade do nervo sural utilizando o ICC foram publicados (Kohara et al., 2000), sendo que nenhum estudo fez uso do método de Bland-Altman. O estudo da confiabilidade dos parâmetros de condução determinados nesses nervos é de extrema relevância uma vez que

eles são analisados sucessivamente para acompanhamento da evolução clínica da neuropatia sensorial distal.

O objetivo deste estudo foi determinar a confiabilidade intra- e inter-avaliadores das medidas de velocidade de condução nervosa (VCN), latência, duração e amplitude dos potenciais de ação dos nervos peroneal superficial, sural e plantar medial conduzidas em participantes saudáveis. Nossos resultados contribuem na discussão sobre vantagens e desvantagens dos métodos analíticos comumente utilizados para analisar aspectos relacionados à confiabilidade dos TCN.

## **MÉTODOS**

O Comitê de Ética da Faculdade de Saúde da Universidade Industrial de Santander aprovou a realização deste estudo, de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975. Todos os participantes assinaram termo de consentimento livre esclarecido.

Vinte sujeitos saudáveis e fisicamente ativos, com idade entre 18 e 30 anos, participaram voluntariamente do estudo. A amostra apresentou distribuição homogênea entre os gêneros; a média de idade foi  $23,5 \pm 3,5$  anos, de estatura  $1,68 \pm 0,1$  metros, da massa corporal  $62 \pm 8,5$  kg e do índice de massa corporal  $21,9 \pm 1,8$  kg/m<sup>2</sup>. Um questionário de saúde e avaliação médica foram aplicados para excluir indivíduos com história de doenças neurológicas (centrais ou periféricas), doenças sistêmicas com envolvimento potencial do sistema nervoso, hipertensão, síndromes neuromusculares genéticas, doença mental, traumas e sequelas em algum dos membros inferiores, cirurgia de medula espinhal, exposição à neurotoxinas, ingestão de álcool acima de 100 g/dia por pelo menos 2 anos, abusos de substâncias, gravidez ou estado puerperal, índice de massa corporal abaixo de 18,5 ou acima de 25 kg/m<sup>2</sup>, ou qualquer outra condição clínica que poderia alterar ou contra-indicar os procedimentos (Aminoff, 1998; D'Amour et al., 2000; Hiza ET al., 2000). Além disso, para confirmar a integridade dos nervos avaliados foi aplicado o teste sensorial dos monofilamentos de Semmes-Weinstein (Valk et al., 1997).

Os testes de condução dos nervos peroneal superficial, sural e plantar medial foram realizados bilateralmente e em duas oportunidades por dois avaliadores. Para melhorar a independência das medições e para evitar viés na interpretação, a segunda avaliação foi realizada por cada examinador num prazo de 8 a 15 dias (Begg e McNeil, 1988; Ransohoff e

Feinstein, 1978). Os avaliadores não obtiveram informações acerca de seus resultados anteriores e dos dados obtidos pelo outro avaliador, sendo então caracterizados como cegos. Os parâmetros de condução considerados no estudo foram os seguintes: intensidade do estímulo (em V), latência medida no pico negativo em (ms), amplitude pico-a-pico do PANS (em  $\mu\text{V}$ ), duração desde o início ao fim da deflexão negativa (em ms), distância entre o eletrodo ativo de estimulação e o eletrodo de captação (em mm) e VCN (em m/s).

Os TCN foram realizados com um aparelho modelo Nicolet Compass Meridian (Madison, WI) e a seguinte configuração: largura de banda de 20 Hz a 3 kHz, velocidade de varredura de 1 ms/divisão e ganho de  $10\mu\text{V/divisão}$  para a captação do nervo peroneal superficial,  $20\mu\text{V/divisão}$  para o nervo sural e  $2\mu\text{V/divisão}$  para o nervo plantar medial. Os estímulos consistiram em pulsos retangulares de  $100\mu\text{s}$  e amplitude ajustada para garantir uma resposta máxima. Os registros foram realizados a uma temperatura ambiente de  $23,3 \pm 1,5^\circ\text{C}$  e temperatura da pele de  $29,4 \pm 1,2^\circ\text{C}$  medida no dorso do pé.

Antes de iniciar os TCN os participantes descansaram sobre uma maca durante 15 min. Foi efetuada limpeza da pele nos locais de estimulação e de captação. Os nervos foram testados na seguinte ordem: nervo peroneal superficial, sural e plantar medial, começando com a perna esquerda. O método de referências anatômicas foi utilizado para o posicionamento dos eletrodos. Os sinais nervosos foram obtidos a partir da média de 20 respostas. Os participantes permaneceram em decúbito dorsal para a captação do nervo peroneal superficial e em decúbito ventral para os registros dos nervos plantar medial e sural. Antes dos registros foram dadas instruções aos participantes para evitar movimentos bruscos dos eletrodos ou das pernas. No final de cada teste foi mensurada a temperatura da pele no local de captação.

O ramo cutâneo dorsal medial do nervo peroneal superficial foi avaliado a partir da técnica antidrômica. O eletrodo de captação superficial foi colocado entre os maléolos medial e lateral e o nervo foi estimulado 14 cm acima do eletrodo de captação proximal, na face antero-lateral da perna. Para o TCN do nervo sural, o eletrodo de captação foi posicionado atrás do maléolo lateral e o eletrodo de estimulação 14 centímetros acima do eletrodo de captação ativo, lateral à linha média da largura dos músculos da panturrilha. Finalmente, o nervo plantar medial foi avaliado a partir do método ortodrômico. O nervo foi estimulado com dois eletrodos de anel colocados em torno do hálux, sendo o cátodo proximal ao ânodo. O

hálux foi afastado dos outros dedos usando um separador de plástico. O eletrodo de captação ativo foi colocado sobre um ponto no qual a artéria tibial posterior pode ser palpada, próximo ao maléolo medial do tornozelo. Para todas as técnicas, o eletrodo de referência (terra) foi colocado no músculo da panturrilha.

### **Análise Estatística**

As variáveis foram descritas usando os valores médios e os desvios-padrão ou medianas e intervalos interquartil, segundo a distribuição (Pagano e Gauvreau, 1993). A normalidade de cada parâmetro foi avaliada a partir do teste de Shapiro-Wilk (Siegel, 1989) e as diferenças entre as medidas da perna direita e esquerda foram comparadas a partir do teste *t* de Student para grupos dependentes (Pagano e Gauvreau, 1993) ou do teste de Wilcoxon (Siegel, 1989). A confiabilidade intra e inter-avaliadores foi avaliada pelo método de Bland-Altman (Bland e Altman, 1986) e pelo ICC (Bartko, 1976). A variabilidade das medidas foi analisada mediante o CV (Armitage e Berry, 1987).

### **O método de Bland-Altman**

Este método é uma medida absoluta de concordância entre duas medidas ou instrumentos, na mesma escala de medição (Bland e Altman, 1986). Este método é usado para comparar pares de observações e inicia com um gráfico de dispersão relacionando as diferenças de duas medidas, no eixo do X, e as médias do par de medidas, no eixo do Y. Sequencialmente são calculados a média da diferença das medidas (*d*) e os desvios-padrão das diferenças (*SD<sub>diff</sub>*). O nível de concordância é maior à medida que as diferenças se aproximem de zero e o intervalo de confiança de 95% se torne mais estreito. Este método permite identificar viés sistemático da medida, quando a média da diferença é positiva ou negativa e o intervalo de confiança de 95% não inclui o zero (Bland e Altman, 2007).

$$d = \sum (\text{medida 1} - \text{medida 2}) / \text{número de medidas}$$

$$\text{Limite de concordância} = d \pm 2SD_{diff}$$

### **Coefficiente de correlação intraclasse**

O ICC quantifica a concordância entre as medidas de variáveis de escala de razão ou ordinal (Bartko, 1976). O ICC fornece uma estimativa da média de todas as correlações entre todos os pares de combinações de medidas disponíveis para as análises intra e inter-avaliadores. Quando o valor do ICC se aproxima de 1,0 a concordância aumenta, portanto valores superiores a 0,75 indicam boa concordância entre as medidas (Domholdt, 2005). O

cálculo matemático do ICC baseia-se numa tabela de análise de variância para medidas repetidas (Keating e Matyas, 1998), que inclui três fontes de variação: participantes, avaliadores e erro aleatório inerente a qualquer processo de medição. Várias fórmulas matemáticas são utilizadas para o cálculo do ICC e sua seleção depende do desenho do estudo. Se cada participante é avaliado pelo mesmo grupo de avaliadores, a seguinte fórmula é recomendada:

$$ICC = \frac{MS_{inter} - MS_{error}}{MS_{inter} + (k-1) \times MS_{error}}$$

onde,  $k$  é o número de avaliadores,  $MS_{inter}$  o quadrado médio inter-participantes e  $MS_{error}$  o quadrado médio do erro residual.

### **Coefficiente de Variação**

Considerando que os parâmetros de condução nervosa são mensurados em unidades diferentes, foi analisada a dispersão interna desses dados por meio do CV para determinar quais apresentaram a maior porcentagem de variabilidade (Armitage e Berry, 1987). O CV é definido como a razão do desvio-padrão pela média; um CV maior sugere alta variabilidade dos valores mensurados:

$$CV = [\text{desvio padrão}/\text{média}] \times 100$$

Apesar do fato de que o CV não avalia confiabilidade, a sua inclusão neste estudo permite comparar nossos resultados com publicações anteriores e trazer mais elementos para a discussão dos métodos estatísticos utilizados na análise da confiabilidade dos TCN.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software de estatística Stata 9,0 (StatCorp, 2005). Para todos os testes,  $\alpha \leq 0,05$  foi considerado significativo.

## **RESULTADOS**

Em geral, os parâmetros obtidos pelo avaliador 1 apresentaram distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk ( $P > 0,05$ ), exceto a latência dos nervos sural ( $P < 0,0001$ ) e plantar medial ( $P < 0,02$ ). Os dados obtidos pelo avaliador 2 com distribuições não-normais foram a latência ( $P = 0,002$ ) e amplitude ( $P < 0,01$ ) do nervo plantar medial e amplitude do nervo sural ( $P < 0,03$ ). O nervo plantar medial apresentou o maior valor médio para latência e os menores valores para velocidade e amplitude, quando comparado com os outros dois nervos (Figura 1).

Não houve diferenças estatisticamente significantes entre a maioria dos parâmetros avaliados nas extremidades direita e esquerda ( $P > 0,05$ ) e a diferença identificada em poucos deles não tem relevância clínica. Deste modo, para análise de confiabilidade, foram considerados 40 registros de cada nervo, obtidos nas duas extremidades dos 20 participantes. Os resultados da análise intra e inter-avaliadores a partir do método de Bland-Altman e o ICC, bem como os CV determinados para cada parâmetro, são apresentados nas Tabelas 1 a 4.

### **O método de Bland-Altman**

As médias das diferenças entre as medições feitas por cada avaliador foram próximas de zero e não houve evidência de erro sistemático na maioria dos parâmetros de condução nervosa avaliados. Além disso, as medidas dos parâmetros do nervo peroneal superficial tiveram a melhor concordância intra-avaliador. As mensurações do avaliador 2 tiveram médias das diferenças mais próximas de zero e limites de concordância mais estreitos, quando comparadas com as do avaliador 1 (Tabelas 1 e 2).

A análise inter-avaliadores (Tabela 3) mostrou médias das diferenças próximas de zero, sem viés positivo ou negativo; o zero esteve incluído nos limites de concordância de 95%, sem viés sistemático aparente. Estes resultados suportam bom nível de concordância entre os avaliadores. As análises dos parâmetros registrados no nervo plantar medial determinaram médias das diferenças mais próximas de zero em relação às determinadas nos outros nervos.

### **Coefficiente de correlação intraclass**

Foram determinados  $ICC \geq 0,75$  na análise intra-avaliador para amplitude (avaliador 1) e latência (avaliador 2) do nervo plantar medial e para amplitude (avaliador 2) do nervo sural (Tabela 4). A análise dos registros do avaliador 2 mostrou ICCs maiores para grande parte dos parâmetros, em relação aos obtidos pelo avaliador 1. A análise inter-avaliadores mostrou concordâncias categorizadas entre moderadas e muito baixas em todos os nervos. Os maiores ICCs foram identificados para a medida de amplitude do nervo plantar medial e VCN do sural. Em geral, a amplitude foi o parâmetro que apresentou melhor concordância tanto na análise intra-avaliador quanto na análise inter-avaliadores (Tabela 4).

### **Coefficiente de Variação**

Na maioria dos casos, a análise intra-avaliador determinou CVs maiores para o avaliador 2 em relação ao avaliador 1. Os maiores CV ( $\geq 24.9\%$ ) foram determinados para amplitude em todos os nervos, tanto na análise intra-avaliador quanto inter-avaliadores. Por outro lado, os menores CVs ( $< 10\%$ ) foram identificados para a VCN. O nervo que mostrou menor variabilidade, em ambas as análises, foi o nervo peroneal superficial (Tabela 4).

## DISCUSSÃO

Recentemente tem aumentado o número de investigações acerca da variabilidade e confiabilidade dos TCN devido ao uso frequente desses testes nos ensaios clínicos (Bril et al., 1998; Chaudhry et al., 1991, 1994; Dycket al., 1991; Halar e Venkatesh, 1976; Kohara et al., 2000; Kong et al, 2006; Lew et al., 2005; Løseth et al. 2007; Salerno et al., 1999; Schuhfried et al., 2005). No entanto, os estudos de confiabilidade mostram resultados mistos que devem ser comparados e interpretados cuidadosamente, de acordo com os nervos e os parâmetros avaliados, bem como de acordo com o método estatístico aplicado.

Embora o método de Bland-Altman não tenha sido amplamente utilizado para analisar a confiabilidade dos TCN, a sua aplicação em nosso estudo permitiu verificar um bom nível de concordância intra- e inter-avaliadores para os parâmetros determinados nos nervos plantar medial, peroneal superficial e sural. A análise intra-avaliador determinou médias das diferenças mais próximas de zero para a maioria dos parâmetros do nervo peroneal superficial, em comparação aos registros dos outros nervos. Em contraste, a melhor concordância inter-avaliador foi identificada para os registros do nervo plantar medial. Esse último resultado concorda com os dados publicados por Løseth et al (2007) e suporta o fato de que, apesar da baixa amplitude do potencial de ação do nervo plantar medial, o seu registro é tão confiável como os registros dos nervos sural e peroneal superficial e, ainda, vários de seus parâmetros são ligeiramente mais confiáveis.

Por outro lado, os ICCs identificados nas análises intra e inter-avaliadores foram categorizados como moderados e muito baixos para os parâmetros registrados nos três nervos. A análise do ICC determinou que a amplitude tem a melhor confiabilidade. Os parâmetros avaliados nos nervos plantar medial e sural apresentaram ICCs maiores que os avaliados no nervo peroneal superficial. Alguns estudos prévios que aplicaram o ICC na análise da confiabilidade dos TCN relataram resultados mistos e controversos. Salerno et al. (1999)



encontraram que as medições no nervo mediano são mais confiáveis (ICC entre 0,76 a 0,92) que as medições no nervo ulnar (ICC entre 0,22 a 0,85); além disso, os ICCs calculados na análise de confiabilidade intra-examinador foram maiores que aqueles da análise inter-examinadores. Schuhfried et al. (2005) relataram ICCs muito baixos (0,05 a 0,42) na análise intra-examinador dos registros do nervo ulnar em sujeitos saudáveis. Kohara et al. (2000) realizaram um estudo multicêntrico para estudar a variabilidade e confiabilidade dos TCN em sujeitos saudáveis e em portadores de neuropatia diabética, obtendo ICCs que variaram entre 0,54 e 0,94.

No que se refere à variabilidade, no presente estudo foram determinados CVs semelhantes aos relatados em estudos prévios (Bleasel e Tuck, 1991; Bril et al., 1998) e o parâmetro que apresentou a maior variabilidade foi a amplitude. Para diminuir a variabilidade nos parâmetros de condução nervosa causada pela temperatura, o laboratório foi mantido a  $23,3 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ; conseqüentemente a diferença média da temperatura da pele entre as duas medições foi menor do que  $1,4 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$  (Tabela 5). Considerando que nosso estudo incluiu uma amostra homogênea em relação à idade e o gênero, assumimos que os fatores técnicos, mais do que os fisiológicos, tiveram uma contribuição importante na variabilidade dos parâmetros.

No presente estudo foi utilizado o método de referências anatômicas para todos os registros. Este método é usualmente selecionado devido ao fato de que o comprimento da perna não é idêntico entre todas as pessoas (Schuchmann, 1977). Contudo, esse método não permite a comparação direta das latências devido às diferenças nas distâncias entre os eletrodos, sendo necessário calcular a VCN (Wilbourn, 1994). As diferenças nas medições da distância entre os eletrodos determinadas em nosso estudo (Tabela 5) provavelmente explicam a melhor concordância e a menor variabilidade da VCN em relação à latência. Por sua vez, as diferenças nas medições da distância inter-eletrodos poderiam derivar-se da posição da extremidade avaliada, das variações anatômicas na localização do nervo e do movimento da pele e tecido subcutâneo durante os testes (Schuhfried et al., 2005; Trojaborg, 1964).

A inclusão de diferentes métodos estatísticos para analisar a confiabilidade dos TCN nos permite discutir diferenças entre os resultados de confiabilidade, às vezes contraditórios, bem como as vantagens e desvantagens de cada um desses métodos (Lexell e Downham, 2005).

O resultado da análise de confiabilidade inter-avaliadores do registro da duração do potencial do nervo plantar medial nos permite exemplificar a aparente contradição entre os métodos estatísticos. A análise realizada a partir do método de Bland-Altman determinou que a diferença média entre as medidas foi bem próxima de zero (0,002 milissegundos) com limites de concordância de 95% entre -0,58 a 0,58 milissegundos (Tabela 3), mostrando ótima concordância, o que poderia ser interpretado como excelente confiabilidade inter-avaliadores. Em contraste, a análise do mesmo parâmetro a partir do ICC identificou um valor de 0,30, indicando uma concordância pobre, que poderia ser interpretada como pobre confiabilidade inter-avaliadores (Tabela 4). No mesmo sentido, o CV foi de 11,4%, entendido como alta variação no registro do parâmetro. Situação semelhante foi observada na análise inter-avaliadores da VCN do nervo plantar medial; as Figuras 2A e 2B apresentam os gráficos de dispersão das medidas e da análise de Bland-Altman, respectivamente.

Esses exemplos mostram que a determinação do ICC e o método de Bland-Altman são formas diferentes, mas complementares, de analisar a confiabilidade de uma medida. Ambos os métodos têm vantagens e desvantagens que devem ser consideradas na sua aplicação e interpretação. O ICC quantifica a concordância entre as medidas, é fácil de ser interpretado, e pode ser usado para análise de dados provenientes de mais de duas medições e de amostras pequenas. No entanto, torna-se claro que a utilização isolada do ICC para analisar a confiabilidade pode conduzir resultados equivocados porque uma vez que a amostra seja homogênea, como no nosso caso, o valor de ICC tende a ser menor. Além disso, a interpretação clínica do ICC é difícil porque os resultados não são dados na escala de medida original e, portanto não fornece nenhuma indicação a respeito da magnitude de discordância entre as medidas (Keating e Matyas, 1998; Lexell e Downham, 2005; Rankin e Stokes, 1998). Por outro lado, o método de Bland-Altman proporciona dados visuais facilmente interpretáveis, faixas das diferenças entre as mensurações na mesma escala de medida, viés ou *outliers* e relações entre a variância da medição e a magnitude da média. No entanto, o método de Bland-Altman só pode ser aplicado para comparar duas avaliações do mesmo observador, dois avaliadores, ou dois procedimentos de medição (Bland e Altman, 1986; Lexell e Downham, 2005).

Finalmente, é importante considerar que, embora o CV tenha sido sistematicamente utilizado desde a década de 1970, ele é aplicado para comparar a variação das medidas que têm valores de médias e DP significativamente diferentes. Portanto, o CV não pode ser considerado como um índice de confiabilidade. Além disso, tem-se demonstrado que mensurações de pequena magnitude tendem a produzir CVs maiores quando comparadas com mensurações de maior magnitude (Armitage e Berry, 1987; Kirshner & Guyatt, 1985; McLaughlin et al., 1998). No entanto, a inclusão do CV neste estudo permitiu comparar a variabilidade dos parâmetros de condução determinada no presente estudo com estudos prévios disponíveis na literatura.

Os resultados de confiabilidade apresentados neste estudo correspondem à indivíduos jovens e saudáveis e não devem ser extrapolados para outras populações. Considerando que os parâmetros de condução nervosa são dependentes da idade, os resultados poderiam ser diferentes em sujeitos idosos. Além disso, levando em conta que as neuropatias distais são mais comuns nos idosos, são necessários estudos futuros que considerem indivíduos com um amplo espectro de idade e de alterações nervosas.

## **CONCLUSÕES**

Embora o método de Bland-Altman tenha indicado boa confiabilidade intra e inter-avaliadores dos parâmetros de condução dos nervos peroneal superficial, sural, e plantar medial, a análise do ICC apresentou resultados mistos. Essas abordagens estatísticas são complementares e os resultados não necessariamente coincidem. Cada um desses métodos tem vantagens e desvantagens que devem ser consideradas no momento da escolha para aplicação e interpretação dos resultados. Portanto, nós consideramos que seja necessário estabelecer um consenso em relação ao método estatístico mais relevante para análise da confiabilidade das medidas repetidas em geral e para análise da confiabilidade dos TCN em particular.

## **AGRADECIMENTOS**

A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (Capes, Brasil) pela concessão de sua bolsa de doutorado. As autoras agradecem aos Drs. Spielholz NI, Universidade de Miami, e Russo TL, Universidade Federal de São Carlos, pela revisão crítica do manuscrito.

## REFERÊNCIAS

- Aminoff MJ.** Electromyography in Clinical Practice: Clinical and Electrodiagnostic Aspects of Neuromuscular Disease. In: Ross A, ed. New York: Churchill Livingstone, 1998: 630.
- Armitage P, Berry G.** Statistical Methods in Medical Research. New York: Blackwell scientific publications, 1987: 559.
- Bartko J.** On various intraclass correlation reliability coefficients. *Psychol Bull.* 1976; 83: 762–765.
- Begg CB, McNeil BJ.** Assessment of radiology test: control of bias and other design considerations. *Radiology.* 1988; 167:565–569.
- Bland JM, Altman DG.** Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986; 8:307–310.
- Bland JM, Altman DG.** Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual. *J Biopharm Stat.* 2007; 17:571–582.
- Bleasel AF, Tuck RR.** Variability of repeated nerve conduction studies. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1991; 81:417– 420.
- Bolton CF, Carter KM.** Human sensory nerve compound action potential amplitude: variation with sex and finger circumference. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1980; 43: 925–928.
- Bril V, Ellison R, Ngo M, et al.** Electrophysiological monitoring in clinical trials. *Muscle Nerve.* 1998; 21:1368 –1373.
- Chaudhry V, Cornblath DR, Mellits ED, et al.** Inter- and intra examiner reliability of nerve conduction measurements in normal subjects. *Ann Neurol.* 1991; 30:841– 843.
- Chaudhry V, Corse AM, Freimer ML, et al.** Inter- and intraexaminer reliability of nerve conduction measurements in patients with diabetic neuropathy. *Neurology.* 1994; 44: 1459 – 1462.
- Chodoroff G, Tashjian EA, Ellenberg MR.** Orthodromic vs antidromic sensory nerve latencies in healthy persons. *Arch Phys Med Rehabil.* 1985; 66: 589–591.
- D'Amour LM, Brissette S, Lavoie J, Butterworth RF.** Reduced sensory and motor nerve conduction velocities in moderate drinkers. *Addict Biol.* 2000; 5:71–75.
- Domholdt E.** In: Walman M, ed. *Rehabilitation Research: Principles and Applications.* 3rd ed. New York: Elsevier Saunders, 2005: 576.
- Dorfman LJ, Bosley TM.** Age-related changes in peripheral and central nerve conduction in man. *Neurology.* 1979; 29:38–44.

**Dyck PJ, Kratz KM, Lehman KA, et al.** The Rochester diabetic neuropathy study: design, criteria for types of neuropathy, selection bias, and reproducibility of neuropathic tests. *Neurology*. 1991; 41:799–807.

**Halar EM, Venkatesh B.** Nerve conduction velocity measurements: two point improved accuracy using superimposed response waves. *Arch Phys Med Rehabil*. 1976;57: 451– 457.

**Hinderer SR, Hinderer KA.** Principles and applications of measurement methods. In: DeLisa JA, Gans BM, Walsh NE, et al. eds. *Physical Medicine and Rehabilitation: Principles and Practice*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005:1139 –1157.

**Hiza HA, Pratt C, Mardis AL, Anand R.** Body Mass Index and Health. Insight 16. Washington, DC: USDA, Center for Nutrition Policy and Promotion, 2000.

**Honet JC, Jepsen RH, Perrin EB.** Variability of nerve conduction velocity determinations in normal persons. *Arch Phys Med Rehabil*. 1968; 49: 650–654.

**Karsidag S, Morali S, Salman S, Karsidag K.** The electrophysiological findings of subclinical neuropathy in patients with recently diagnosed type 1 diabetes mellitus. *Diabetes Res Clin Pract*. 2005; 67: 211–219.

**Keating J, Matyas T.** Unreliable inferences from reliable measurements. *Aust J Physiother*. 1998; 44:5–10.

**Kimura J.** Principles and variations of nerve conduction studies. Principles and practice. In: Kimura J, ed. *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle*. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2001: 91–117.

**Kirshner B, Guyatt G.** A methodological framework for assessing health indices. *J Chron Dis*. 1985; 38:27–36.

**Kohara N, Kimura J, Kaji R, et al.** F-wave latency serves as the most reproducible measure in nerve conduction studies of diabetic polyneuropathy: multicentre analysis in healthy subjects and patients with diabetic polyneuropathy. *Diabetologia*. 2000; 43: 915–921.

**Kong X, Gozani SN, Hayes MT, Weinberg DH.** NC-stat sensory nerve conduction studies in the median and ulnar nerves of symptomatic patients. *Clin Neurophysiol*. 2006; 117: 405–413.

**Lew HL, Date ES, Pan SS, et al.** Sensitivity, specificity, and variability of nerve conduction velocity measurements in carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005; 86:12–16.

**Lexell JE, Downham DY.** How to assess the reliability of measurements in rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil*. 2005; 84:719 –723.

**Løseth S, Nebuchennykh M, Stålberg E, Mellgren SI.** Medial plantar nerve conduction studies in healthy controls and diabetics. *Clin Neurophysiol*. 2007; 118:1155–1161.

- Maynard FM, Stolov WC.** Experimental error in determination of nerve conduction velocity. *Arch Phys Med Rehabil.* 1972; 53: 362–372.
- McDowell, I.** *Measuring Health. A Guide to Rating Scales and Questionnaires.* 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2006:768.
- McLaughlin SC, Aitchison TC, Macfarlane PW.** The value of the coefficient of variation in assessing repeat variation in ECG measurements. *Eur Heart J.* 1998; 19:342–351.
- Oh SJ.** In: Sydor AM, ed. *Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2003: 816.
- Pagano M, Gauvreau K.** *Principles of Biostatistics.* Belmont, California: Duxbury Press, 1993: 524.
- Rankin G, Stokes M.** Reliability of assessment tools in rehabilitation: an illustration of appropriate statistical analyses. *Clin Rehabil.* 1998; 12: 187–199.
- Ransohoff DF, Feinstein AR.** Problems of spectrum and bias in evaluating the efficacy of diagnostic test. *N Engl J Med.* 1978; 299: 926–930.
- Salerno DF, Werner RA, Albers JW, et al.** Reliability of nerve conduction studies among active workers. *Muscle Nerve.* 1999; 22: 1372–1379.
- Schuchmann JA.** Sural nerve conduction: a standardized technique. *Arch Phys Med Rehabil.* 1977; 58: 166–168.
- Schuhfried O, Angst M, Herceg M, Paternostro-Sluga T.** Interexaminer repeatability of antidromic ulnar sensory nerve conduction velocity measurements. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86: 2047–2050.
- Siegel S.** *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences.* New York: McGraw Hill Book Company, 1989: 399.
- StatCorp.** *Stata Statistical Software: Release 9.0.* College Station, TX: Stata Corporation LP, 2005.
- Streiner DL, Norman GR.** *Health Measurement Scales: A Practical Guide to Their Development and Use.* New York: Oxford University Press, 2003: 296.
- Trojaborg W.** Motor nerve conduction velocities in normal subjects with particular reference to the conduction in proximal and distal segments of median and ulnar nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1964; 17: 314–321.
- Valk G, Sonnavilles J, Houtmun W, et al.** The assessment of diabetic polyneuropathy in daily clinical practice: reliability and validity of Semmes Weinstein monofilaments examination and clinical neurological examination. *Muscle Nerve.* 1997; 20: 116–118.

**Wilbourn AJ.** Sensory nerve conduction studies. *J Clin Neurophysiol.* 1994; 11: 584–601.

**Tabela 1.** Resultados da análise de confiabilidade intra-avaliador para cada parâmetro a partir do método de Bland-Altman. Dados obtidos pelo avaliador 1.

Parâmetro	Nervo	Avaliação 1	Avaliação 2	B & A*
Latência (ms)	Peroneal Superficial	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,4	0,002
		[3,0, 4,1]	[2,9, 4,7]	[-0,9, 0,9]
	Sural	3,1 ± 0,7	2,7 ± 0,3	0,38
Amplitude (µV)	Peroneal Superficial	[2,3, 5,9]	[2,3, 3,8]	[-0,97, 1,73]
		Plantar Medial	5,9 ± 0,7	5,4 ± 0,5
	Duração (ms)	Peroneal Superficial	[4,8, 7,7]	[4,5, 7,2]
Plantar Medial			18,9 ± 7,4	18,9 ± 7,4
VCN (m/s)		Peroneal Superficial	[6,5, 32,1]	[7,9, 40,3]
	Sural		46,1 ± 15,7	47,3 ± 14,7
	Duração (ms)	Peroneal Superficial	[7,8, 98,7]	[20,3, 86,3]
Plantar Medial			5,3 ± 2,7	5,6 ± 2,6
Duração (ms)		Peroneal Superficial	[1,1, 11,3]	[1,8, 13,1]
	Sural		1,7 ± 0,3	1,6 ± 0,2
	Duração (ms)	Peroneal Superficial	[1,3, 2,7]	[1,2, 2,2]
Sural			1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1
Duração (ms)		Peroneal Superficial	[1,2, 1,8]	[1,2, 1,7]
	Plantar Medial		1,8 ± 0,3	1,7 ± 0,3
	VCN (m/s)	Peroneal Superficial	[1,4, 2,4]	[1,2, 2,7]
Plantar Medial			38,8 ± 3,2	40,0 ± 2,7
VCN (m/s)		Peroneal Superficial	[32,3, 44,7]	[33,6, 45,9]
	Sural		41,0 ± 2,9	42,5 ± 2,9
	VCN (m/s)	Peroneal Superficial	[34,4, 47,3]	[36,7, 47,9]
Plantar Medial			30,5 ± 3,1	33,1 ± 2,7
VCN (m/s)		Peroneal Superficial	[22,8, 36,1]	[35,7, 40,6]
	Plantar Medial			

Dados das avaliações 1 e 2 são apresentados como média ± DP [Mínimo, máximo]

\*Nível de acordo, método de Bland-Altman. Diferença média [Limites de concordância de 95%]



**Tabela 2.** Resultados da análise de confiabilidade intra-avaliador para cada parâmetro a partir do método de Bland-Altman. Dados obtidos pelo avaliador 2.

<b>Parâmetro</b>	<b>Nervo</b>	<b>Avaliação 1</b>	<b>Avaliação 2</b>	<b>B &amp; A*</b>
Latência (ms)	Peroneal	3,1 ± 0,5	3,2 ± 0,5	-0,11
	Superficial	[2,4, 4,1]	[2,5, 4,5]	[-1,02, 0,80]
	Sural	3,3 ± 0,5	3,1 ± 0,4	0,17
		[2,2, 4,4]	[2,4, 4,7]	[-0,73, 1,07]
Amplitude (µV)	Plantar Medial	5,9 ± 0,9	5,7 ± 0,9	0,23
		[4,2, 8,0]	[4,0, 7,6]	[-0,63, 1,08]
	Peroneal	20,6 ± 8,9	21,7 ± 9,4	-1,07
	Superficial	[8,0, 57]	[5,5, 42,8]	[-18,3, 16,1]
Duração (ms)	Sural	46,3 ± 17,8	49,2 ± 29,9	-2,9
		[21,3, 114,0]	[20, 122]	[-20,73, 14,95]
	Plantar Medial	4,5 ± 2,4	4,4 ± 1,9	0,10
		[1,3, 10,4]	[2,1, 10,8]	[-3,1, 3,3]
VCN (m/s)	Peroneal	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,2	0,01
	Superficial	[1,1, 2,0]	[1,2, 2,0]	[-0,44, 0,46]
	Sural	1,5 ± 0,2	1,4 ± 0,18	0,04
		[1,1, 1,9]	[1,1, 2,0]	[-0,3, 0,37]
VCN (m/s)	Plantar Medial	1,8 ± 0,4	1,7 ± 0,3	0,10
		[0,9, 3,0]	[1,2, 2,9]	[-0,94, 1,14]
	Peroneal	40,7 ± 3,5	40,2 ± 3,5	0,51
	Superficial	[35,2, 50]	[27,8, 46,6]	[-5,9, 7,0]
VCN (m/s)	Sural	41,3 ± 2,5	41,4 ± 2,9	-0,07
		[35, 46]	[35,5, 46,7]	[-4,48, 4,33]
	Plantar Medial	31,7 ± 3,7	33,1 ± 4,7	-1,45
		[24,1, 40,5]	[24,2, 44,5]	[-7,17, 4,27]

Dados das avaliações 1 e 2 são apresentados como média ± DP [Mínimo, máximo]

\*Nível de acordo, método de Bland-Altman. Diferença média [Limites de concordância de 95%]

**Tabela 3.** Médias das duas avaliações realizadas por cada avaliador e análise de confiabilidade inter-avaliadores a partir do método de Bland-Altman.

<b>Parâmetro</b>	<b>Nervo</b>	<b>Avaliador 1</b>	<b>Avaliador 2</b>	<b>B &amp; A *</b>
Latência (ms)	Peroneal	3,5 ± 0,2	3,1 ± 0,4	0,39
	Superficial	[3,1, 4,1]	[2,5, 4,3]	[-0,42, 1,20]
	Sural	2,9 ± 0,5	3,2±0,4	-0,28
	Plantar Medial	[2,4, 4,4]	[2,3, 4,4]	[-1,09, 0,53]
Amplitude (µV)	Peroneal	5,6 ± 2,5	5,8±0,8	-0,19
	Superficial	[4,7, 7,2]	[4,1, 7,8]	[-1,43, 1,05]
	Sural	18,9 ± 6,5	21,2 ± 8,0	-2,30
	Plantar Medial	[8,4, 34,8]	[7,4, 42,0]	[-14,7, 10,1]
Duração (ms)	Peroneal	46,7 ± 14,0	47,8±18,8	-1,06
	Superficial	[23,4, 92,5]	[23,1, 118]	[-24,7, 22,6]
	Sural	5,5 ± 2,5	4,5±2,1	0,99
	Plantar Medial	[2,0, 11,9]	[2,1, 10,6]	[-1,64, 3,63]
VCN (m/s)	Peroneal	1,7 ± 0,2	1,5 ± 0,2	0,14
	Superficial	[1,3, 2,5]	[1,2, 2,0]	[-0,31, 0,58]
	Sural	1,4 ± 0,1	1,4±0,2	-0,03
	Plantar Medial	[1,2, 1,7]	[1,1, 1,9]	[-0,34, 0,28]
	Peroneal	1,8 ± 0,2	1,8±0,3	0,002
	Superficial	[1,4, 2,3]	[1,2, 2,6]	[-0,58, 0,58]
	Sural	39,4 ± 2,7	40,5 ± 3,0	-1,1
	Plantar Medial	[33,0, 43,4]	[31,6, 47,4]	[-6,3, 4,04]
	Peroneal	41,7 ± 2,6	41,4 ± 2,5	0,37
	Superficial	[35,5, 46,1]	[35,3, 45,6]	[-2,84, 3,57]
	Sural	31,8 ± 2,7	32,4±4,0	-0,62
	Plantar Medial	[25,1, 36,5]	[24,9, 40,9]	[-7,20, 5,95]

Dados do avaliador 1 e 2 são apresentados como média ± DP [Mínimo, Máximo]

\*Nível de acordo pelo método de Bland-Altman. Diferença média [Limites de concordância de 95%]

**Tabela 4.** Resultados do ICC e do CV na análise intra e inter-avaliadores

Parâmetro	Nervo	ICC*			CV†		
		Avaliador 1	Avaliador 2	Inter-avaliadores	Avaliador 1	Avaliador 2	Inter-avaliadores
Latência	Peroneal Superficial	0,03	0,51	-0,06	6,7	13,2	8,0
	Sural	0,19	0,50	0,44	16,1	13,0	12,9
	Plantar Medial	0,45	0,84	0,59	10,4	14,3	11,3
Amplitude	Peroneal Superficial	0,55	0,54	0,59	34,5	37,8	32,8
	Sural	0,69	0,88	0,74	24,9	39,4	32,7
	Plantar Medial	0,81	0,73	0,75	45,5	46,2	43,9
Duração	Peroneal Superficial	0,46	0,54	0,38	14,7	13,7	12,3
	Sural	0,21	0,60	0,40	8,3	11,7	8,5
	Plantar Medial	0,28	0,004	0,30	13,3	15,0	11,4
VCN	Peroneal Superficial	0,52	0,55	0,54	6,8	7,6	4,6
	Sural	0,52	0,66	0,79	6,2	6,0	5,6
	Plantar Medial	0,38	0,72	0,50	8,3	12,3	9,1

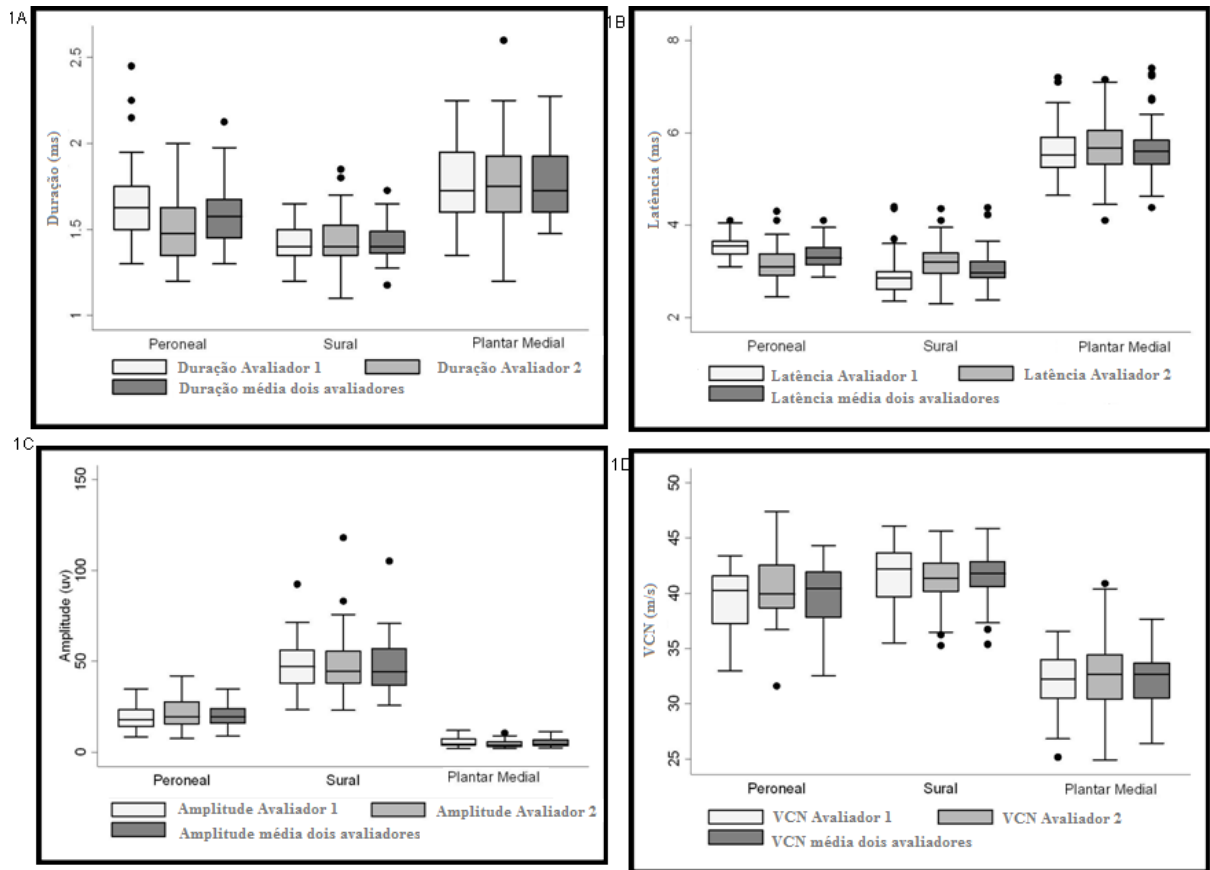
\* Coeficiente de Correlação Intraclasse

† Coeficiente de Variação (%)

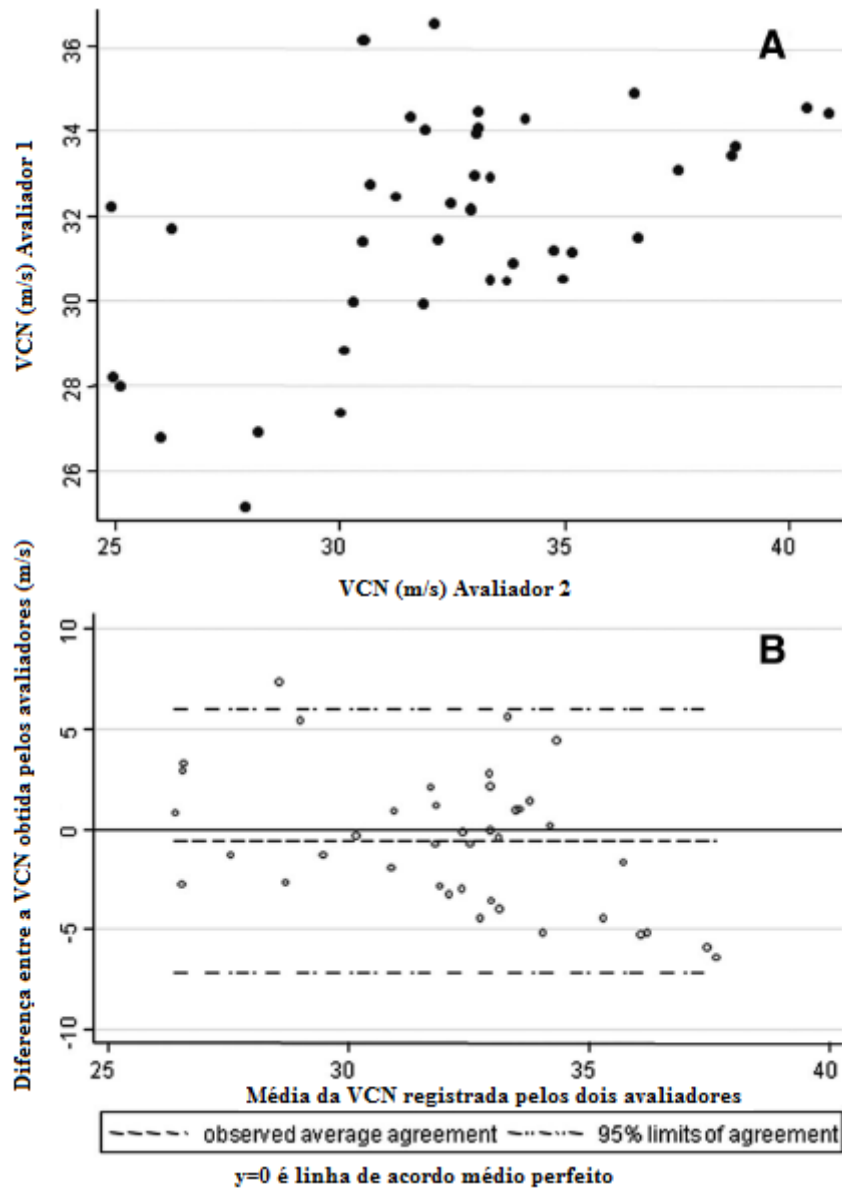
**Tabela 5.** Diferenças da temperatura da pele, da intensidade do estímulo e da distância entre os eletrodos, registradas entre os dois testes de cada avaliador e entre os testes de ambos os avaliadores.

<b>Parâmetro</b>	<b>Nervo</b>	<b>Diferenças entre os testes Avaliador 1</b>	<b>Diferenças entre os testes Avaliador 2</b>	<b>Diferenças entre os testes dos Avaliadores</b>
Temperatura da pele (°C)	Peroneal Superficial	-0,63±1,5	-0,2±1,3	-0,3±1,2
	Sural	-0,84±1,2	-0,7±1,3	-0,21±1,3
	Plantar Medial	-1,4±0,23	-0,7±1,5	0,8±1,6
Intensidade do Estímulo (V)	Peroneal Superficial	-3,5±32,4	-1,4±27,2	-8,3±22,2
	Sural	-1,0±6,9	-11,7±37,2	-3,4±31,9
	Plantar Medial	12,2±50,6	-7,9±51,7	-49,2±37,7
Distância entre os eletrodos (mm)	Peroneal Superficial	-4,15±18,2	-2,4±21,5	11,9±17,2
	Sural	11,1±4,4	6,5±3,0	-10,6±16,6
	Plantar Medial	1,5±10,7	-0,45±9,9	-8,4±8,4

As diferenças são apresentadas como média ± DP. As diferenças dos parâmetros registrados pelo avaliador 1 e 2 foram calculadas comparando os dois testes realizados por cada um deles. As diferenças entre avaliadores foram calculadas comparando as médias das diferenças dos parâmetros identificados por cada um deles.



**Figura1.** Distribuição dos parâmetros de cada nervo (peroneal superficial, sural e plantar medial) obtidos por cada avaliador e pelos dois avaliadores (A) Duração; (B) Latência; (C) Amplitude e (D) VCN.



**FIGURA 2.** Análises de confiabilidade inter-avaliadores do registro da velocidade de condução do nervo plantar medial. (A) *Scatter plot* dos dados registrados pelos avaliadores 1 e 2. Cada ponto representa a VCN determinada por cada um dos avaliadores (ICC= 0,50). (B) Gráfico de Bland-Altman. Eixo horizontal mostra as médias da VCN registrada pelos dois avaliadores. Eixo vertical mostra as diferenças entre as VCN registradas pelos dois avaliadores. Média das diferenças= -0,62 m/s, limites de concordância de 95%= -7,20 a 5,95 m/s.

**CAPÍTULO 2.**

**EFEITOS DA CRIOTERAPIA NA CONDUCÃO NERVOSA SENSORIAL E  
MOTORA**

**PROJETO 2**

## 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Diversas formas de crioterapia são usadas no contexto clínico como, por exemplo, a criomassagem, o pacote de gelo, a imersão em água gelada, dentre outras.<sup>1-5</sup> No entanto, a capacidade destas modalidades para resfriar os tecidos varia devido a fatores como o método e duração da intervenção, a magnitude da área de tratamento, a espessura do tecido adiposo e muscular na área de intervenção e o nível de atividade física realizada antes e depois do resfriamento.<sup>2-6</sup>

Vários estudos têm avaliado a eficácia das modalidades comparando as variações da temperatura da pele, durante e depois da intervenção.<sup>2-12</sup> Porém, a variação da temperatura cutânea não representa adequadamente as alterações da temperatura nos tecidos subcutâneos,<sup>12</sup> onde se localiza o verdadeiro foco da intervenção terapêutica. Sabe-se que o resfriamento diminui a velocidade de condução nervosa (VCN),<sup>13-18</sup> o que poderia contribuir para o efeito hipoalgésico da crioterapia e a diminuição do espasmo muscular.<sup>18</sup> Contudo, nenhum estudo comparou os efeitos de diversas modalidades de crioterapia na variação dos parâmetros de condução nervosa sensorial e motora. Essa comparação é importante para fundamentar critérios de seleção das modalidades de crioterapia, segundo os efeitos fisiológicos e terapêuticos esperados.

Alguns estudos têm analisado a recuperação da temperatura dos tecidos durante a fase de reaquecimento, ou seja, após a crioterapia.<sup>5, 11, 19</sup> Nesses estudos foi observado que quando o sujeito é mantido em repouso após a crioterapia, a temperatura da pele se recupera rapidamente,<sup>5</sup> enquanto que a temperatura intramuscular continua diminuindo por alguns minutos após a intervenção.<sup>11</sup> Mais recentemente, Myrer et al<sup>19</sup> identificaram que o exercício de caminhada moderada, comparado ao repouso, acelera o reaquecimento do músculo tríceps sural previamente resfriado com pacote de gelo picado.

Sendo que o efeito primário da crioterapia é a diminuição da temperatura dos tecidos, o achado de Myrer et al<sup>19</sup> gera uma pergunta: seria também a aceleração do reaquecimento, induzido pelo exercício, capaz de reduzir a duração de outros efeitos fisiológicos da crioterapia sobre os tecidos subcutâneos, como sobre a condução neural.

Diante disto, foi realizado um estudo experimental com os seguintes objetivos: (1) comparar os efeitos do pacote de gelo, criomassagem e imersão em água gelada sobre os



parâmetros de condução dos nervos sural e tibial posterior motor registrados imediatamente após o resfriamento, (2) comparar os efeitos desses três protocolos de crioterapia na VCN registrada 30 min pós-resfriamento e (3) analisar o efeito do exercício físico (15 min de marcha) realizado após o resfriamento na recuperação da VCN sensorial e motora. Trinta e seis sujeitos saudáveis (18 mulheres e 18 homens) foram alocados aleatoriamente nos três grupos de intervenção. As variáveis independentes foram: grupo de modalidade de resfriamento (criomassagem, pacote de gelo e imersão em água gelada), atividade pós-resfriamento (30 min de repouso e 15 min de marcha seguido de 15 min de repouso) e tempo de avaliação (pré-resfriamento, imediatamente pós-resfriamento e 30 min pós-resfriamento). As variáveis dependentes foram: a temperatura da pele e os parâmetros de condução nervosa sensorial e motora (latência, amplitude, duração e VCN).

A seguir são apresentados dois manuscritos derivados desta pesquisa, nos quais se descrevem os detalhes metodológicos e os resultados do estudo.

## REFERÊNCIAS

1. Bleakley C, McDonough S, MacAuley D. Use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury. A systematic review of randomized controlled trials. *Am J Sports Med* 2004; 32: 251-261.
2. Merrick MA, Jutte LS, Smith ME. Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *J Athl Train.* 2003;38:28–33.
3. Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86:1411–1415.
4. Janwantanakul P. Different rate of cooling time and magnitude of cooling temperature during ice bag treatment with and with damp towel wrap. *Phys Ther Sport.* 2004;5:156 – 161.
5. Kennet J, Hardaker N, Hobbs S, Selfe J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train.* 2007;42: 343–348.
6. Chesterton LS, Foster NE, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83:543–549.
7. Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86:1411–1415.
8. Janwantanakul P. Different rate of cooling time and magnitude of cooling temperature during ice bag treatment with and with damp towel wrap. *Phys Ther Sport.* 2004;5:156 – 161.
9. Zemke JE, Andersen JC, Guion WK, et al. Intramuscular temperature responses in the human leg to two forms of cryotherapy: ice massage and ice bag. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27:301–307.
10. Warren TA, McCarty EC, Richardson AL, et al. Intra-articular knee temperature changes: ice versus cryotherapy device. *Am J Sports Med.* 2004;32:441–445.
11. Myrer JW, Measom G, Fellingham GW. Temperature changes in the human leg during and after two methods of cryotherapy. *J Athl Train.* 1998;33:25–29.
12. Jutte LS, Merrick MA, Ingersoll CD, Edwards JE. The relationship between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82:845–850.
13. Greathouse DG, Currier DP, Joseph BS, et al. Electrophysiologic responses of human sural nerve to temperature. *Phys Ther.* 1989;69:914–922.

14. Dioszeghy P, Stalberg E. Changes in motor and sensory nerve conduction parameters with temperature in normal and diseased nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1992;85:229–235.
15. Halar EM, DeLisa JA, Brozovich FV. Nerve conduction velocity: relationship of skin subcutaneous and intramuscular temperatures. *Arch Phys Med Rehabil.* 1980;61:199–203.
16. Halar EM, Delisa JA, Brozovich FV. Peroneal nerve conduction velocity: the importance of temperature correction. *Arch Phys Med Rehabil.* 1981;62:439–443.
17. Halar EM, DeLisa JA, Soine TL. Nerve conduction studies in upper extremities: skin temperature corrections. *Arch Phys Med Rehabil.* 1983;64:412–416.
18. Algafly AA, George KP. The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *Br J Sports Med.* 2007;41:365–369.
19. Myrer JW, Measom GJ, Fellingham GW. Exercise after cryotherapy greatly enhances intramuscular rewarming. *J Athl Train* 2000; 35(4):412-416.

## **2.2 MANUSCRITO 2. A CONDUÇÃO NERVOSA SENSORIAL E MOTORA É AFETADA DIFERENCIALMENTE POR PACOTE DE GELO, CRIOMASSAGEM E IMERSÃO EM ÁGUA GELADA**

Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM, Salvini TF. Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water immersion. *Phys Ther.* 2010;90:581-591. Artigo publicado em periódico internacional indexado (A1 em Educação Física, B1 em Medicina I e B2 em Ciências Biológicas II / Web-Qualis, CAPES)

E. Herrera, Fisioterapeuta, MS, aluna de doutorado no Programa de Ciências Fisiológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, e Professora Titular, Escuela de Fisioterapia, Universidad Industrial de Santander, Ciudad Universitaria, Carrera 27 Calle 9, Bucaramanga, Santander, Colômbia. [eshevi@uis.edu.co](mailto:eshevi@uis.edu.co).

M.C. Sandoval, Fisioterapeuta, PhD, Professora Associada, Escuela de Fisioterapia, Universidad Industrial de Santander.

D.M. Camargo, MS, Professora Associada, Escuela de Fisioterapia, Universidad Industrial de Santander.

T.F. Salvini, Fisioterapeuta, PhD, Professora Titular, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal da São Carlos.

## RESUMO

**Contextualização.** Sabe-se que a diminuição da temperatura tecidual altera a condução nervosa motora e sensorial. No entanto, poucos estudos têm comparado o efeito de diferentes modalidades de resfriamento nos parâmetros de condução nervosa. **Objetivo.** Comparar os efeitos do pacote de gelo, criomassagem e imersão em água gelada sobre os parâmetros de condução do nervo sural (sensorial) e tibial posterior motor. **Desenho.** Foi realizado um estudo experimental com distribuição aleatória dos participantes em 1 dos 3 grupos de intervenção (n= 12, por grupo). Variáveis independentes foram modalidade de resfriamento e tempo de mensuração pré e pós-resfriamento. Variáveis dependentes foram temperatura da pele e parâmetros de condução nervosa. **Métodos.** Trinta e seis pessoas saudáveis, com média de idade (DP) de 20,5 (1,9) anos participaram no estudo. Cada grupo recebeu 1 das 3 modalidades de resfriamento na região da panturrilha direita, durante 15 min. A temperatura cutânea e os parâmetros de condução nervosa foram medidos antes e imediatamente após o resfriamento. **Resultados.** As 3 modalidades reduziram a temperatura da pele (média - 18.2°C). Houve também redução da amplitude e aumento da latência e duração do potencial de ação composto. Criomassagem, pacote de gelo e imersão em água gelada reduziram a velocidade de condução nervosa sensorial (VCN) em 20,4, 16,7 e 22,6 m/s, e a VCN motora em 2,5, 2,1 e 8,3 m/s, respectivamente. Imersão em água gelada foi a modalidade mais eficaz para alterar os parâmetros de condução nervosa. **Limitações.** A área de resfriamento da criomassagem e do pacote de gelo foi menor do que a de imersão em água gelada. O examinador não foi cegado para o grupo tratamento. A população incluiu somente participantes jovens e saudáveis. **Conclusões.** Todas as 3 modalidades foram eficazes para reduzir a temperatura da pele e alterar a condução sensorial a um nível fisiológico suficiente para induzir o efeito hipoalгésico. Os resultados sugerem que a imersão em água gelada, como aplicada neste estudo, é a modalidade mais indicada para induzir efeitos terapêuticos associados à diminuição da condução nervosa motora.

## INTRODUÇÃO

A crioterapia é a aplicação terapêutica de alguma substância para retirar calor do corpo, ocasionando uma diminuição da temperatura tecidual.<sup>1,2</sup> Ela é frequentemente utilizada nas áreas desportiva e de reabilitação para tratar lesões músculo esqueléticas, durante a fase aguda e de reabilitação.<sup>3</sup> Alguns efeitos fisiológicos da crioterapia são a diminuição da temperatura tecidual, do fluxo sanguíneo e do metabolismo celular.<sup>2-8</sup> Além disso, a crioterapia diminui a velocidade de condução nervosa (VCN) sensorial e motora<sup>9,10</sup> e apresenta um efeito controverso na força muscular (capacidade de gerar força).<sup>11-13</sup> Essas alterações fisiológicas determinam alguns efeitos terapêuticos como a diminuição da dor e do espasmo muscular e a prevenção do edema pós-traumático.<sup>1-13</sup>

Várias formas de crioterapia são comumente usadas e sua eficácia depende do método e tempo de aplicação, da área de tratamento e do nível de atividade física realizada antes e depois da intervenção.<sup>14</sup> De modo geral, o pacote de gelo, a criomassagem e a imersão em água gelada são consideradas as modalidades de uso clínico mais eficazes para reduzir a temperatura.<sup>14-17</sup>

A eficácia das modalidades de crioterapia tem sido analisada pela comparação da sua capacidade para diminuir a temperatura intramuscular,<sup>18</sup> intrarticular<sup>19</sup> e da pele,<sup>10,14-17,20,21</sup> bem como para manter as mudanças dessas temperaturas. A mensuração da temperatura da pele tem sido amplamente usada porque é um procedimento simples e não invasivo. Alguns autores que usaram mensurações da temperatura da pele, supõem que as mudanças da temperatura na pele tem estreita relação com as mudanças na temperatura subcutânea e intramuscular.<sup>10,15-17</sup> Porém, o estudo de Jutte et al<sup>22</sup> mostrou que a temperatura da pele não representa adequadamente a temperatura intramuscular pois explica apenas 21% de sua variabilidade. A influência da espessura do tecido subcutâneo e muscular no resfriamento dos tecidos profundos também tem sido previamente analisada.<sup>23,24</sup>

Estudos eletrofisiológicos prévios têm determinado uma relação linear e direta entre a temperatura da pele e a VCN e uma relação inversa entre a temperatura e latência, amplitude e duração do potencial de ação composto.<sup>26-30</sup> Contudo, essas relações variam segundo o tipo de fibra nervosa. No nervo sensorial foram identificadas diminuições de 1,4 a 2,6 m/s/°C, enquanto que no nervo motor a diminuição variou de 1,1 a 1,5 m/s/°C.<sup>1</sup> Outros fatores que afetam a relação entre a temperatura da pele e a VCN são a profundidade na qual o nervo está

localizado, a quantidade de tecido subcutâneo que o rodeia, a idade do sujeito, a faixa de variação da temperatura<sup>27-30</sup> e, provavelmente, o tipo de modalidade utilizada para diminuir a temperatura da pele.

Há carência na literatura de estudos que comparem os efeitos das diferentes modalidades de resfriamento nos parâmetros de condução nervosa motora e sensorial. Identificamos somente um estudo<sup>31</sup> que determinou um efeito significativo do pacote de gelo, comparado ao pacote de gel, na diminuição da VCN das fibras motoras do nervo ulnar. No entanto, esse estudo não analisou o efeito dessas modalidades sobre a condução sensorial.

Comparar a efetividade das modalidades de crioterapia sobre a condução nervosa motora e sensorial é importante para fornecer parâmetros fisiológicos que fundamentam a seleção da modalidade de crioterapia mais adequada para conseguir o efeito terapêutico desejado. Estudos como esse contribuem para a prática clínica baseada em evidência científica.

Considerando que cada modalidade de crioterapia tem diferente capacidade para resfriar a pele e os tecidos subcutâneos, e que a condução das fibras nervosas é afetada pelas modificações da temperatura da pele, a hipótese deste estudo foi que as modalidades de crioterapia, com diferenças nas propriedades físicas, teriam efeitos distintos na condução nervosa sensorial e motora. O objetivo do presente estudo foi comparar os efeitos de três modalidades de resfriamento de uso terapêutico frequente (pacote de gelo, criomassagem e imersão em água gelada) sobre os parâmetros de condução dos nervos sural e tibial posterior motor em sujeitos saudáveis.

## **MÉTODOS**

Foi realizado um estudo experimental com 3 grupos de intervenção e alocação aleatória. As variáveis independentes foram tipo de modalidade de resfriamento (pacote de gelo, criomassagem e imersão em água gelada) e tempo de mensuração (pré e pós-resfriamento). As variáveis dependentes foram temperatura da pele (°C) e parâmetros de condução nervosa: VCN (m/s), latência e duração (ms), amplitude do potencial de ação composto muscular (mV) e sensorial (µV).

### **Participantes**

Os participantes foram informados sobre os procedimentos experimentais e riscos do estudo e assinaram um termo de consentimento. Participaram no estudo 36 sujeitos saudáveis (18 mulheres e 18 homens). A média (DP) da idade, massa, altura e índice de massa corporal foram 20,5 (1,9) anos, 60,2 (8,4) kg, 1,63 (0,1) m e 22,4 (1,6) kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. O tamanho da amostra para cada grupo de modalidade foi determinado usando o comando `sampsi` do software Stata 9,0<sup>1</sup> e as seguintes especificações:  $\alpha= 0,05$ ;  $\beta= 0,9$ ; razão 1:1. O método de cálculo foi a análise de covariância (ANCOVA) para medidas repetidas, considerado uma medida inicial e outra final. A correlação entre as mensurações iniciais e finais foi  $r= 0,2$ . Este método determinou uma amostra de 10 a 12 participantes para cada grupo de intervenção.

Todos os participantes responderam a um questionário de saúde visando determinar a presença de alguns dos seguintes critérios de exclusão: história de alcoolismo ou tabagismo, doença vascular periférica ou cardiovascular, diabetes, doenças músculo esqueléticas ou neurológicas, trauma recente ou cirurgia da perna direita, alteração da sensibilidade para calor ou frio, reações adversas ao frio, fenômeno de Raynaud e gravidez. Além disso, os participantes foram instruídos a não consumir alimentos e nem bebidas estimulantes (álcool, cafeína, chocolate, etc) duas horas antes do experimento, além de não realizar exercício físico pelo menos 4 horas antes da intervenção. Os critérios de exclusão e as recomendações foram considerados em estudos prévios.<sup>10,31</sup>

### **Instrumentos**

A temperatura da pele foi mensurada com um termômetro infravermelho (Raytek ST PRO<sup>2</sup>), com precisão de 1°C, alta confiabilidade (coeficiente de correlação de 0,97), validade ( $r= 0,92$ ) e sensibilidade (índice de mudança= 4,2). Os testes de condução nervosa foram realizados usando um aparelho Nicolet Compass Meridian System<sup>3</sup> e eletrodos de superfície do mesmo fabricante. As modalidades foram selecionadas pela alta efetividade para reduzir a temperatura da pele e por serem frequentemente usadas na prática clínica.<sup>14-17</sup> O pacote de gelo consistiu em um saco plástico de 18 x 8 cm, sem ar e contendo 279 g de gelo picado. A

---

<sup>1</sup> StataCorp LP 4905 Lakeway Drive College Station, Texas 77845 USA

<sup>2</sup> Raytek Corporation 1201 Shaffer Road Santa Cruz, CA 95061 USA

<sup>3</sup> Nicolet Biomedical Co, 5225 Verona Rd #2, Fitchburg, WI 53711-4497



criomassagem foi realizada com um bloco de gelo de 279 g e dimensões de 8 x 10 x 5 cm. A imersão em água gelada foi realizada em um recipiente de acrílico de 20 x 35 x 30cm, contendo água e gelo picado a uma temperatura de 10°C, como reportado previamente.<sup>17,20</sup> A temperatura desta modalidade foi mensurada durante a intervenção e teve uma média (DP) inicial de 8,9 (1,0)°C e final de 7,8 (1,2)°C.

### **Procedimentos**

Os participantes foram alocados aleatoriamente em um dos três grupos de intervenção, usando uma sequência de números aleatórios gerada por um computador.<sup>32</sup> Os experimentos foram realizados no horário de 14 às 18 horas para minimizar a influencia do ciclo circadiano sobre a regulação da temperatura corporal. As mensurações e as intervenções foram realizadas na panturrilha direita dos participantes. Todos os procedimentos de avaliação e intervenção foram realizados na mesma sala, uma vez que as mensurações finais foram realizadas imediatamente após a intervenção. A temperatura ambiente foi mantida em 24 (0,08)°C e não variou significativamente durante os testes ( $P= 0,29$ ).

Antes do protocolo experimental, os participantes confirmaram o cumprimento das recomendações sobre exercício e consumo de alimentos e bebidas estimulantes. A altura e massa foram registradas para calcular o índice de massa corporal. Os participantes usaram camiseta e shorts. Para a aclimatação na sala do experimento, os participantes permaneceram em decúbito ventral numa maca convencional durante 15 min. Nesse tempo foram determinados a área de resfriamento e os lugares de colocação dos eletrodos para a realização dos testes de condução nervosa.

### **Modalidades de crioterapia**

As modalidades foram aplicadas por 15 min consecutivos pelo mesmo fisioterapeuta (M.C.S.). Esta duração é frequentemente usada para tratamentos, porque é suficiente para alcançar os efeitos terapêuticos e evita complicações da crioterapia.<sup>21, 33</sup> A criomassagem e o pacote de gelo foram aplicados na panturrilha em uma área retangular de 18x8cm determinada previamente (Fig. 1). O pacote de gelo foi colocado sem compressão, diretamente sobre a pele. A criomassagem foi realizada por deslocamentos longitudinais contínuos. Para a aplicação da imersão em água gelada, os participantes permaneceram sentados, enquanto submergiam a perna direita até a borda superior de um retângulo, com área similar ao usado para delimitar a zona de resfriamento das outras duas modalidades (Fig. 1). No final da

intervenção, a perna foi rapidamente seca com uma toalha, sem fricção e a seguir o participante retornava a uma maca em posição decúbito ventral para realizar a avaliação pós-resfriamento. Todos os participantes completaram o protocolo experimental sem apresentar reações adversas ao frio.

### **Mensuração da temperatura da pele**

A temperatura da pele foi medida imediatamente antes (pré-resfriamento) e depois (pós-resfriamento) da aplicação da modalidade de resfriamento. A temperatura foi medida no centro do retângulo previamente definido (Fig. 1), com um termômetro infravermelho colocado perpendicularmente, bem próximo à pele, mas evitando tocá-la.

### **Mensuração da condução nervosa**

Os potenciais de ação compostos resultantes da estimulação dos nervos tibial posterior motor e sural foram registrados duas vezes, antes e depois do resfriamento, seguindo as técnicas descritas por Oh.<sup>34</sup> Esses nervos foram selecionados porque estão localizados dentro da área de resfriamento. Além disso, o nervo tibial posterior tem uma grande quantidade de fibras motoras e o sural é um nervo estritamente sensorial.<sup>26,34</sup> Portanto a avaliação conjunta desses nervos permite analisar os efeitos do resfriamento nas fibras nervosas motoras e sensoriais. Os testes de condução nervosa foram realizados pelo mesmo examinador (E.H.). A fim de reduzir as variações técnicas, os locais de estimulação e de captação foram demarcados com um marcador de tinta permanente durante a avaliação pré-resfriamento e os eletrodos de registro não foram removidos durante a intervenção, exceto nos participantes que receberam imersão em água gelada. Nesse caso, os eletrodos de registro foram removidos após a avaliação pré-resfriamento e recolocados nos lugares demarcados para realizar a avaliação pós-resfriamento.

Antes de realizar os testes de condução nervosa, os participantes foram instruídos a evitar movimentos bruscos da perna. Os registros do nervo sural foram obtidos com uma largura de banda de 20Hz a 3kHz, uma sensibilidade de 20  $\mu$ V/divisão e uma velocidade de varredura de 1 ms/divisão. Um eletrodo superficial de captação, tipo barra, foi colocado atrás do maléolo lateral. O eletrodo de estimulação foi colocado 14 cm proximal ao eletrodo ativo de captação, lateral à linha média da largura dos músculos da panturrilha<sup>34</sup> (Fig. 2A). Os estímulos foram pulsos retangulares de 100  $\mu$ s, com amplitude um pouco maior que a necessária para atingir uma resposta máxima. O potencial nervoso obtido foi a média de 20

estimulações repetitivas. Os seguintes parâmetros sensoriais foram medidos: VCN, latência medida no pico do potencial, amplitude medida de pico a pico e duração medida desde o início até o fim da onda negativa do potencial de ação nervoso sensorial.

Os registros do nervo tibial posterior motor foram obtidos com uma largura de banda 2 Hz a 10 kHz, uma sensibilidade de 2 mV/divisão e uma velocidade de varredura de 2 ms/divisão. O eletrodo ativo de captação, tipo disco, foi colocado sobre o ventre do músculo abductor do hálux e o eletrodo de referência na base do hálux. O eletrodo terra foi colocado na panturrilha. A estimulação distal foi realizada atrás do maléolo medial e a estimulação proximal na fossa poplíteia (Fig. 2B). Os seguintes parâmetros de condução motora foram medidos: VCN do segmento nervoso entre o tornozelo e o joelho, latência distal, amplitude e duração da onda negativa do potencial de ação muscular composto.

#### **Confiabilidade intra-avaliador dos parâmetros de condução dos nervos sural e tibial posterior motor**

A confiabilidade intra-avaliador dos testes de condução dos nervos tibial posterior motor e sural foi avaliada antes de realizar as coletas do presente estudo. O examinador, o mesmo que realizou as avaliações no presente estudo, realizou os registros duas vezes em 20 participantes, em sessões separadas por pelo menos 8 dias, seguindo as técnicas de registro já descritas.<sup>25</sup>

#### **Procedimentos estatísticos**

A confiabilidade intra-avaliador dos parâmetros de condução foi avaliada usando o método de Bland-Altman.<sup>35</sup> Os dados foram reportados como médias das diferenças (limites de acordo de 95%).

No presente estudo, a estatística descritiva foi usada para resumir as características da população, a temperatura da pele e os dados de condução nervosa, apresentados como médias  $\pm$  Desvio-Padrão (DP). As características iniciais dos participantes nos grupos de intervenção foram comparadas usando uma análise de variância (ANOVA) e o teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ), segundo a escala de mensuração de cada variável.<sup>32</sup> As mensurações obtidas antes e depois do resfriamento foram comparadas pelo teste t de Student pareado, porque uma distribuição normal de todas as variáveis foi previamente determinada pelo teste de Shapiro-Wilk.<sup>32,36</sup> Além disso, uma análise de covariância (ANCOVA)<sup>37</sup> foi usada para comparar os efeitos das três modalidades sobre a temperatura da pele e os parâmetros de condução nervosa, usando o

grupo de criomassagem como referência. Para a análise estatística foi utilizado o software STATA 9.0, com um nível de significância  $\alpha=0,05$ .

## RESULTADOS

### *Confiabilidade intra-avaliador dos testes de condução nervosa*

A análise intra-avaliador determinou médias das diferenças próximas de zero e não houve evidência de erro sistemático. A média das diferenças (95% dos limites de acordo) para os parâmetros do nervo sural foram: latência = 0,17 ms (-0,73, 1,07), VCN = -0,07 m/s (-4,48, 4,33), amplitude = -2,9  $\mu$ V (-20,73, 14,95) e duração = 0,04 ms (-0,3, 0,37).<sup>25</sup> Dados respectivos para os parâmetros do nervo tibial motor foram: latência= 0,23 ms (-1,10, 1,56), VCN= -0,32 m/s (-6,20, 5,53), amplitude= -0,1 mV (-4,30, 4,10) e duração= 0,36 ms (-0,91, 1,63) (Dados não publicados).

### *Efeitos das modalidades de resfriamento sobre a temperatura da pele e os parâmetros de condução nervosa*

Trinta e nove voluntários foram elegíveis para participar no estudo, 2 não cumpriram os critérios de inclusão e 1 não participou da sessão experimental. Doze participantes foram alocados aleatoriamente em cada um dos grupos experimentais (Fig. 3). Não houve diferenças significativas entre as características iniciais dos participantes nos três grupos ( $P \geq 0,05$ ) (Tab. 1). Houve diminuição da temperatura da pele após a aplicação das 3 modalidades ( $P \leq 0,0001$ ) (Tab. 2). A criomassagem causou um resfriamento maior da pele, quando comparado com o pacote de gelo ( $\beta=3,03$ ,  $P \leq 0,001$ ) e a imersão em água gelada ( $\beta=9,36$ ,  $P \leq 0,0001$ ). As três modalidades aumentaram a latência e duração do potencial de ação dos nervos sural e tibial posterior motor ( $P \leq 0,05$ ). Houve também diminuição da amplitude e da VCN ( $P \leq 0,05$ ) (Tabs. 3 e 4). Houve um efeito diferente e maior da imersão em água gelada em todos os parâmetros de condução do nervo motor e na amplitude e duração do potencial do nervo sural, comparado com o efeito da criomassagem nesses parâmetros (Tab. 5). Não houve diferenças entre os efeitos do pacote de gelo e a criomassagem nos parâmetros de condução motora e sensorial ( $P \leq 0,05$ ) (Tab. 5).

## DISCUSSÃO

As três modalidades alteraram significativamente todos os parâmetros do nervo sural, exceto a imersão em água gelada na amplitude (Tab. 4). As diferenças entre os parâmetros determinados antes e após o resfriamento foram maiores do que as diferenças determinadas na análise de confiabilidade intra-avaliador. Os efeitos da criomassagem e do pacote de gelo sobre os parâmetros do nervo tibial motor foram menores (Tab. 3). Apesar das diferenças significativa nas latências e durações determinadas antes e após a intervenção com pacote de gelo no nervo tibial motor, as médias das diferenças foram menores ou similares àquelas determinadas na análise de confiabilidade intra-avaliador deste nervo. No entanto, é importante notar que não foi necessária a remoção dos eletrodos nas avaliações obtidas após a intervenção com pacote de gelo e criomassagem. As diferenças no posicionamento dos eletrodos são as principais fontes de erro no registro dos parâmetros de condução nervosa. As diferenças determinadas nos parâmetros de condução do nervo tibial motor antes e após a imersão em água gelada também foram maiores do que as diferenças determinadas na análise da confiabilidade intra-avaliador. Portanto, consideramos que as alterações na condução motora e sensorial determinadas neste estudo foram consequência real dos efeitos das intervenções ao invés de um erro sistemático da medição.

Os resultados deste estudo sustentam a hipótese proposta, porque as modalidades de resfriamento aplicadas tiveram efeitos diferentes sobre a condução nervosa motora e sensorial. A imersão em água gelada, como aplicada neste estudo, teve o maior efeito sobre os parâmetros de condução, especialmente no nervo tibial motor (Tab. 5). As formas de aplicação do pacote de gelo e a criomassagem, neste estudo, possuem importantes diferenças quando comparadas à imersão em água gelada. Em primeiro lugar, a criomassagem e o pacote de gelo foram aplicados na mesma área da panturrilha ( $144 \text{ cm}^2$ ), enquanto que a imersão em água gelada resfriou uma área/volume muito maior, incluindo a panturrilha, o tornozelo e as regiões do pé onde o nervo torna-se mais superficial e, portanto, mais suscetível ao resfriamento. Em segundo lugar, essas modalidades também têm diferenças termodinâmicas. No caso da criomassagem ou do pacote de gelo, a troca de calor ocorre por condução, enquanto que na imersão processos de condução e convecção estão envolvidos.<sup>1</sup> Nossos resultados podem ser explicados principalmente pelas diferenças na área/volume. Essa diferença pode ter contribuído para um efeito de maior resfriamento da imersão sobre os

tecidos subcutâneos, incluindo o nervo periférico. Futuros estudos são necessários para comparar os efeitos das modalidades de resfriamento na condução nervosa com diferentes propriedades termodinâmicas, aplicadas em áreas de dimensões semelhantes.

Paradoxalmente, a imersão em água gelada ocasionou uma menor diminuição da temperatura da pele, provavelmente porque ao induzir um resfriamento mais extenso, ativa mais rapidamente as respostas termoregulatórias protegendo o corpo das alterações bruscas de temperatura.<sup>38</sup> Consequentemente, a temperatura da pele seria rapidamente regulada e não refletiria adequadamente os efeitos do resfriamento sobre os tecidos subcutâneos.<sup>22</sup>

O resfriamento induzido pelas três modalidades conseguiu diminuir a VCN e prolongar a latência e duração dos potenciais de ação muscular e sensorial (Tabs. 3 e 4). Os efeitos da diminuição da temperatura sobre os parâmetros de condução nervosa estão bem descritos na literatura,<sup>27-30</sup> e parecem dever-se às mudanças na estrutura da membrana axonal<sup>39</sup> e na condutância dos canais de sódio e potássio sensíveis à voltagem.<sup>27</sup> Deste modo, o resfriamento diminui a corrente de membrana, prolonga o período refratário e a duração do potencial de ação, e assim diminuindo a velocidade de transmissão do impulso nervoso.

A relação entre amplitude do potencial de ação e temperatura é controversa na literatura científica. Alguns estudos que analisaram o efeito das mudanças de temperatura nos parâmetros de condução relataram uma relação negativa,<sup>40,41</sup> enquanto outros não identificaram essa relação.<sup>27</sup> No presente estudo, a imersão em água gelada diminuiu significativamente a amplitude do potencial de ação muscular composto (Tab. 3). Criomassagem e pacote de gelo também diminuíram a amplitude do potencial de ação sensorial composto (Tab. 4). A principal diferença de nosso estudo com as pesquisas prévias,<sup>27,40,41</sup> é a faixa de variação da temperatura da pele. Em estudos prévios<sup>27,40,41</sup> a temperatura da pele foi diminuída apenas entre 33,6 a 22,5°C, enquanto que no presente estudo o resfriamento foi mais acentuado (31,6 à 4,0°C). A amplitude do potencial de ação composto representa o número de fibras que respondem a um estímulo elétrico apropriado.<sup>34</sup> Portanto, a redução desse parâmetro após o resfriamento sugere um aumento no limiar de ativação de algumas fibras, bem como um bloqueio na transmissão das fibras nervosas mais sensíveis ao resfriamento. Além disso, o aumento na duração do potencial de ação é um indicador da alteração na sincronia de ativação das fibras nervosas.<sup>34</sup>

Os mecanismos fisiológicos do efeito hipoalgésico da crioterapia ainda não foram completamente elucidados. Diferentes hipóteses têm sido propostas: (1) fechamento da comporta da dor, (2) efeito contra-irritante ativando mecanismos de controle inibitório, (3) aumento do limiar de ativação dos nociceptores e (4) participação das vias descendentes do sistema nervoso central modulando a dor mediante a liberação de opiáceos endógenos. Também tem sido sugerido que o efeito hipoalgésico pode estar relacionado com o aumento do limiar e da tolerância a dor, associadas à diminuição da VCN.<sup>9</sup> Nós sugerimos que a inativação de algumas fibras nervosas, evidenciada na diminuição da amplitude do potencial de ação composto e na alteração da sincronia de resposta das fibras nervosas, poderia ser outro mecanismo importante no efeito hipoalgésico da crioterapia. Novos estudos serão necessários para testar esta hipótese.

Ainda que no atual estudo não foram incluídas mensurações específicas da dor, os resultados para as três modalidades sugerem que o efeito hipoalgésico da crioterapia poderia ser desencadeado principalmente pela redução na condução das fibras sensoriais, pois de modo geral, a magnitude do efeito do resfriamento sobre os parâmetros de condução foi maior no nervo sensorial, em relação ao nervo motor (Tabs. 3 e 4). Criomassagem, pacote de gelo e imersão em água gelada diminuíram a VCN do sural em percentagens equivalentes a 37,9, 31,9 e 41,8%, respectivamente. Por outro lado, cada uma destas modalidades conseguiu diminuir a VCN motora em apenas 5,0, 4,2 e 17,0%, respectivamente. A comparação dos nossos resultados com estudos prévios<sup>9,31</sup> é difícil, pelas diferenças entre os protocolos de intervenção e os nervos analisados. Algaflly and George<sup>9</sup> aplicaram um pacote de gelo durante um tempo médio de 26 min e obtiveram uma temperatura da pele de 10°C e uma diminuição da VCN plantar sensorial de 33%. Por outro lado, McMeeken et al<sup>31</sup> aplicaram a mesma modalidade por 15 min e obtiveram uma temperatura da pele de 5,6°C e uma diminuição aproximada de 13% da VCN motora no nervo ulnar. Apesar de que nesses estudos as mensurações foram feitas em nervos diferentes, de modo geral esses resultados corroboram com nossos resultados que o resfriamento possui um efeito maior sobre as fibras sensoriais. A maior sensibilidade das fibras sensoriais ao resfriamento poderia ser explicada pela sua localização mais superficial em relação às fibras motoras. Além disso, tal fato explica porque os efeitos funcionais da crioterapia são mais pronunciados sobre a sensibilidade<sup>42</sup> que sobre a função muscular.<sup>12</sup>

A redução da VCN motora e sensorial causada pelo resfriamento indica os riscos oriundos do uso prolongado e inapropriado da crioterapia, como queimaduras da pele e lesões dos nervos periféricos. Estudos prévios<sup>33,43</sup> relataram casos de paralisia de nervos superficiais pela aplicação de crioterapia no seu curso anatômico, causando incapacidade breve (1-4 dias) ou prolongada (4-6 meses) com recuperação completa em todos os pacientes. A crioterapia é uma modalidade segura e benéfica sempre que o protocolo usado seja apropriado e adequadamente supervisionado. Contudo, os clínicos devem considerar durante a aplicação da crioterapia vários aspectos como a presença de nervos periféricos que transcorrem superficialmente na área tratada, a quantidade de tecido subcutâneo e adiposo, a área coberta, bem como o método e duração do resfriamento.<sup>33,43</sup>

Os resultados da comparação dos efeitos de três modalidades de resfriamento nos parâmetros de condução nervosa determinaram que a modalidade de imersão em água gelada usada neste estudo, ainda não sendo a mais confortável para o sujeito nem a mais fácil de se aplicar, pode ser o protocolo mais indicado para induzir efeitos terapêuticos sobre a condução motora (por exemplo, no espasmo muscular e na espasticidade). Por outro lado, o efeito hipoalgésico poderia ser induzido indistintamente por qualquer uma das três modalidades de crioterapia analisadas. Embora a imersão em água gelada fosse mais eficiente para alterar alguns parâmetros de condução sensorial, a aplicação das três modalidades conseguiu resfriar a temperatura da pele abaixo de 13,6°C e reduzir a VCN mais do que 10%. Segundo sugerido em estudos prévios,<sup>10,17</sup> essas alterações poderiam estar associadas ao efeito hipoalgésico da crioterapia.

O presente estudo possui algumas limitações metodológicas que restringem a generalização dos resultados. A área de resfriamento da criomassagem e do pacote de gelo foi pequena, quando comparada com a área de resfriamento da imersão em água gelada e, possivelmente, menor que a considerada no âmbito clínico. A população estudada incluiu sujeitos jovens e saudáveis e as respostas poderiam se diferenciar em idosos e em indivíduos com alterações clínicas. O tempo usado para cada modalidade (15 min) poderia ser insuficiente para induzir efeitos maiores no nervo motor, especialmente no caso de pacote de gelo e criomassagem aplicados em áreas restritas. Considerando que as mensurações foram realizadas imediatamente antes e depois da aplicação de cada modalidade, o grupo de tratamento não pôde ser cegado para o examinador. Esse fato poderia limitar a validade interna



do estudo. Estudos subsequentes são necessários para estabelecer a relevância funcional das mudanças na condução nervosa induzidas pelas modalidades de resfriamento sobre a sensibilidade e força muscular, bem como a importância clínica dessas mudanças. O presente estudo apresenta nova contribuição à literatura da área, pois segundo nosso conhecimento, é o primeiro em avaliar os efeitos de três modalidades frequentemente usadas na prática clínica, sobre os parâmetros de condução nervosa motora e sensorial.

## **CONCLUSÕES**

A criomassagem, o pacote de gelo e a imersão em água gelada foram efetivas para diminuir a temperatura da pele e alterar a maioria dos parâmetros de condução motora e sensorial, com efeitos mais notórios sobre as fibras nervosas sensoriais. A imersão em água gelada, como usada neste estudo, foi a modalidade mais efetiva para alterar a condução nervosa, especialmente no nervo tibial posterior motor. Nossos resultados são clinicamente relevantes e contribuem na escolha das modalidades de crioterapia segundo os efeitos fisiológicos e terapêuticos que se esperam induzir.

## **AGRADECIMENTOS**

Herrera E agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (Capes, Brasil) pela concessão de sua bolsa de doutorado.

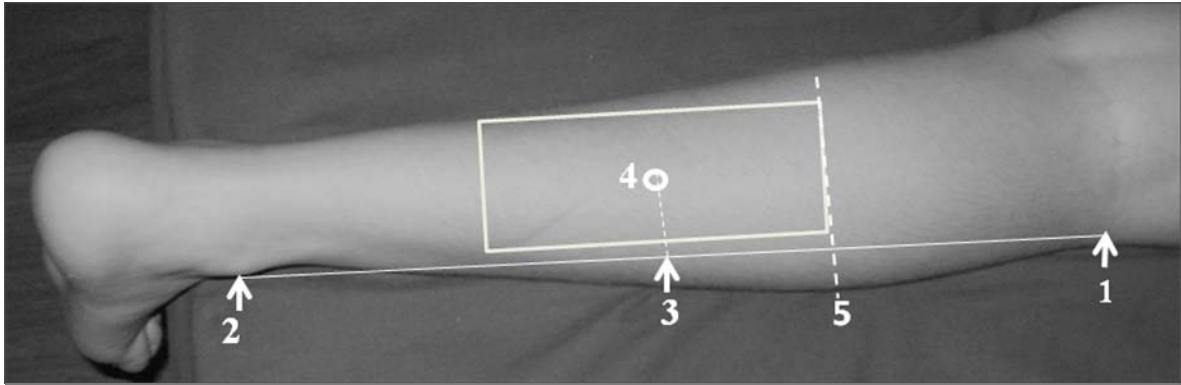
## **REFERÊNCIAS**

1. Knight KL. Cryotherapy in sport injury management. Champaign, IL: Human Kinetics; 1995.
2. Nadler SF, Weingand K, Kruse RJ. The physiological basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician*. 2004;7:395–399.
3. Bleakley C, McDonough S, MacAuley D. Use of ice in the treatment of acute softtissue injury: a systematic review of randomized controlled trials. *Am J Sports Med*. 2004;32:251–261.
4. Oliveira NML, Rainero EP, Salvini TF. Three intermittent sessions of cryotherapy reduce the secondary muscle injury in skeletal muscle of rat. *Journal Sports Science and Medicine*. 2006;5:228–234.
5. Hubbard TJ, Aronson SL, Denegar CR. Does cryotherapy hasten return to participation? A systematic review. *J Athl Train*. 2004; 39:88–94.

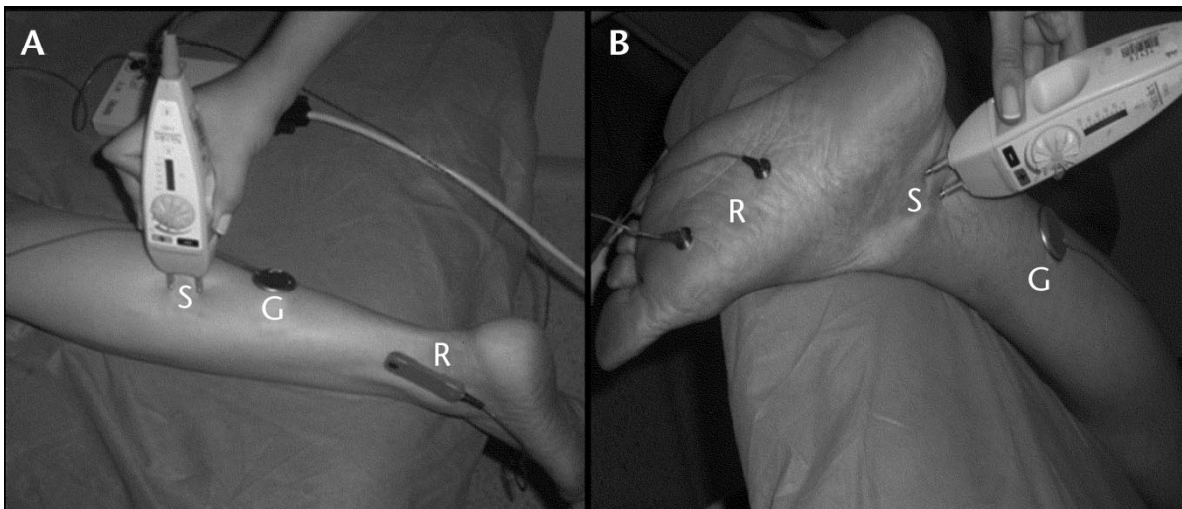
6. Olson JE, Stravino VD. A review of cryotherapy. *Phys Ther.* 1972;52:840–853.
7. Kowal MA. Review of physiological effects of cryotherapy. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1983;5:66–73.
8. Hocutt JE. Cryotherapy. *Am Fam Physician.* 1981;23:141–144.
9. Algafly AA, George KP. The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *Br J Sports Med.* 2007;41:365–369.
10. Chesterton LS, Foster NE, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83:543–549.
11. Ruiz DH, Myrer JW, Durrant E, Fellingham GW. Cryotherapy and sequential exercise bouts following cryotherapy on concentric and eccentric strength in the quadriceps. *J Athl Train.* 1993;28:320–323.
12. Rubley MD, Denegar CR, Buckley WE, Newell KM. Cryotherapy, sensation, and isometric-force variability. *J Athl Train.* 2003;38:113–119.
13. Kimura IF, Gulick DT, Thompson GT. The effect of cryotherapy on eccentric plantar flexion peak torque and endurance. *J Athl Train.* 1997;32:124–126.
14. Merrick MA, Jutte LS, Smith ME. Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *J Athl Train.* 2003;38:28–33.
15. Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86:1411–1415.
16. Janwantanakul P. Different rate of cooling time and magnitude of cooling temperature during ice bag treatment with and with damp towel wrap. *Phys Ther Sport.* 2004;5:156–161.
17. Kennet J, Hardaker N, Hobbs S, Selfe J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train.* 2007;42: 343–348.
18. Zemke JE, Andersen JC, Guion WK, et al. Intramuscular temperature responses in the human leg to two forms of cryotherapy: ice massage and ice bag. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27:301–307.
19. Warren TA, McCarty EC, Richardson AL, et al. Intra-articular knee temperature changes: ice versus cryotherapy device. *Am J Sports Med.* 2004;32:441–445.
20. Myrer JW, Measom G, Fellingham GW. Temperature changes in the human leg during and after two methods of cryotherapy. *J Athl Train.* 1998;33:25–29.

21. Belitsky RB, Odam SJ, Hubley-Kozey C. Evaluation of the effectiveness of wet ice, dry ice, and cryogen packs in reducing skin temperature. *Phys Ther.* 1987;67: 1080–1084.
22. Jutte LS, Merrick MA, Ingersoll CD, Edwards JE. The relationship between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82:845–850.
23. Myrer JW, Myrer KA, Measom GJ, et al. Muscle temperature is affected by overlying adipose when cryotherapy is administered. *J Athl Train.* 2001;36:32–36.
24. Otte JW, Merrick MA, Ingersoll CD, Cordova ML. Subcutaneous adipose tissue thickness alters cooling time during cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83:1501–1505.
25. Herrera E, Camargo DM, Delgado DC, Salvini TF. Reliability of superficial peroneal, sural, and medial plantar nerve conduction studies: analysis of statistical methods. *J Clin Neurophysiol.* 2009;26:295–380.
26. Greathouse DG, Currier DP, Joseph BS, et al. Electrophysiologic responses of human sural nerve to temperature. *Phys Ther.* 1989;69:914–922.
27. Dioszeghy P, Stalberg E. Changes in motor and sensory nerve conduction parameters with temperature in normal and diseased nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1992;85:229–235.
28. Halar EM, DeLisa JA, Brozovich FV. Nerve conduction velocity: relationship of skin subcutaneous and intramuscular temperatures. *Arch Phys Med Rehabil.* 1980;61:199–203.
29. Halar EM, DeLisa JA, Brozovich FV. Peroneal nerve conduction velocity: the importance of temperature correction. *Arch Phys Med Rehabil.* 1981;62:439–443.
30. Halar EM, DeLisa JA, Soine TL. Nerve conduction studies in upper extremities: skin temperature corrections. *Arch Phys Med Rehabil.* 1983;64:412–416.
31. McMeeken J, Lewis MM, Cocks S. Effects of cooling with simulated ice on skin temperature and nerve conduction velocity. *Aust J Physiother.* 1984;30:111–114.
32. Pagano M. *Principles of Biostatistics.* Belmont, CA; Duxbury Press; 2000.
33. Malone TR, Engelhardt DL, Kirkpatrick JS, Bassett FH. Nerve injury in athletes caused by cryotherapy. *J Athl Train.* 1992;27: 235–237.
34. Oh SJ. *Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies.* 3rd ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2002.
35. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;8:307–310.

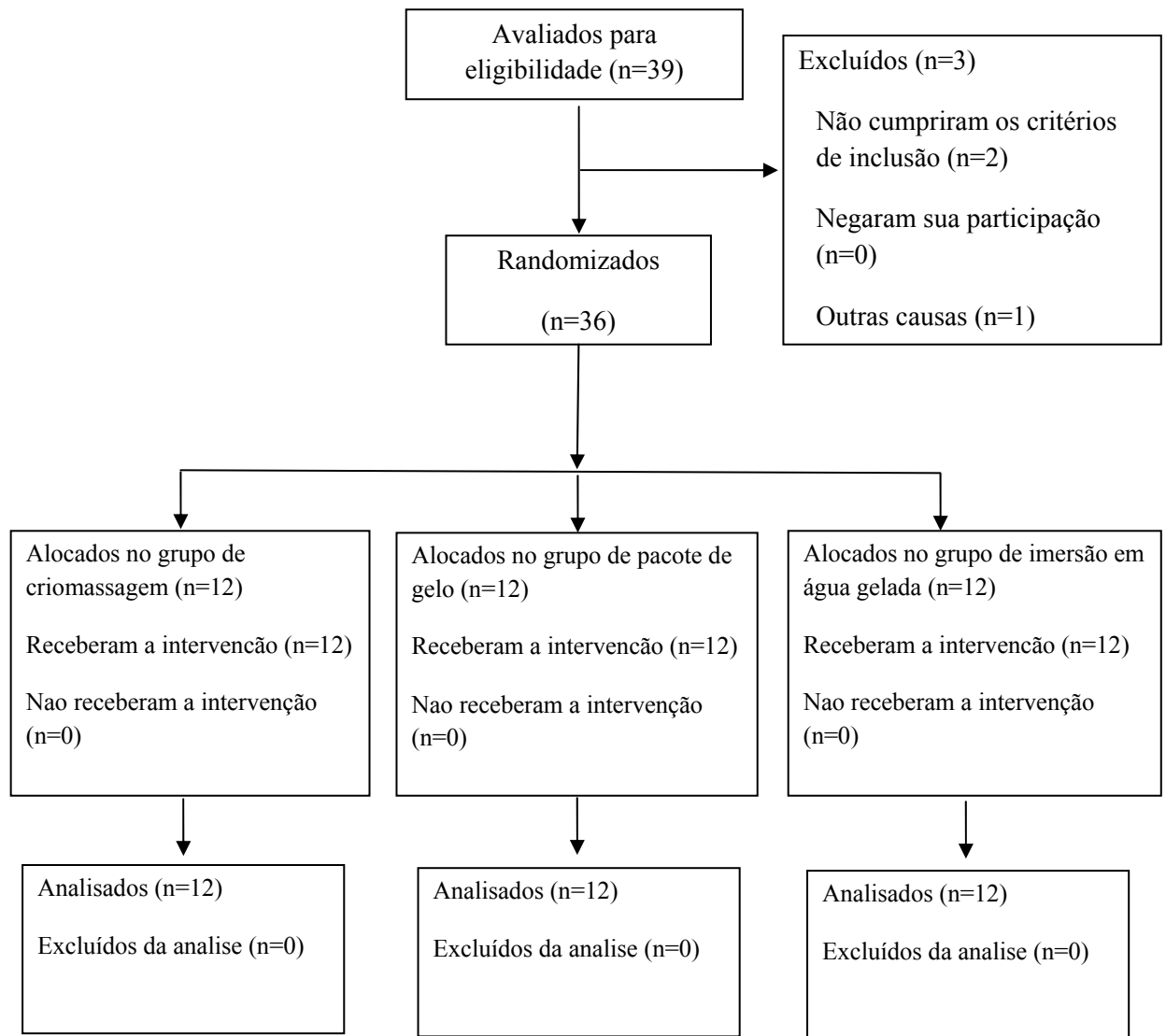
36. Siegel S, Castellan NJ Jr. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. 2<sup>nd</sup> ed. New York, NY: McGraw-Hill Inc; 1988.
37. Vickers AJ, Altman DG. Statistics notes: analysing controlled trials with baseline and follow up measurements. *BMJ*. 2001; 323:1123–1124.
38. Tikuisis P, Gonzalez RR, Pandolf KB. Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. *J Appl Physiol*. 1988; 64:719–727.
39. Luzzati V, Mateu L, Marquez G, Borgo M. Structural and electrophysiological effects of local anesthetics and of low temperature on myelinated nerves: implication of the lipid chains in nerve excitability. *J Mol Biol*. 1999;286:1389–1402.
40. Kiernan MC, Cikurel K, Bostock H. Effects of temperature on the excitability properties of human motor axons. *Brain*. 2001; 124:816–825.
41. Bolton CF, Sawa GM, Carter K. The effects of temperature on human compound action potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1981;44:407–413.
42. Saeki Y. Effect of local application of cold or heat for relief of pricking pain. *Nurs Health Sci*. 2002;4:97–105.
43. Drez D, Faust DC, Evans JP. Cryotherapy and nerve palsy. *Am J Sports Med*. 1981; 9:256–257.



**Figura 1.** Área de resfriamento. Pacote de gelo e criomassagem foram aplicados em uma mesma área retangular determinada conforme o seguinte procedimento: a) mensuração do comprimento da perna entre a cabeça da fíbula (1) e o maléolo lateral (2); b) determinação do ponto médio entre a cabeça da fíbula e o maléolo lateral (3); c) projeção de uma linha perpendicular para a parte posterior da perna, demarcando o ponto médio da panturrilha (4); d) colocação do centro de um molde de acetato no ponto médio da panturrilha para a demarcação de um retângulo de 18×8 cm, onde posteriormente foram aplicados o pacote de gelo e a criomassagem. Para a imersão em água gelada, os sujeitos introduziram a perna em um tanque de água fria até o limite superior do retângulo (5).



**Figura 2.** Posicionamento dos eletrodos de estimulação e de captação para os testes de condução dos nervos sural e tibial posterior motor. (A) Nervos sural e tibial posterior motor: foi realizada uma técnica antidrômica. (B) Nervos sural e tibial posterior motor: estimulação distal no maléolo medial e estimulação proximal na fossa poplíteica (não mostrado). S: local de estimulação, R: local de captação, e G: eletrodo terra.



**Figura 3.** Fluxograma dos pacientes

**Tabela 1.** Características demográficas dos participantes.

Variável	Grupo de Intervenção			<i>p</i>
	Criomassagem (N= 12)	Pacote de Gelo (N= 12)	Imersão em Água Gelada (N= 12)	
Idade (anos)	19,7 (1,3)	20,7 (1,3)	20,9 ( 2,6)	0,26
Participantes mulheres, n (%)	5 (41,7)	6 (50)	7 (58,3)	0,72
Altura (m)	1,61 (0,1)	1,64 (0,1)	1,65 (0,1)	0,54
Massa (Kg)	58 (7,1)	60,4 (8,6)	62,1 (9,7)	0,51
Índice de Massa Corporal (Kg/m <sup>2</sup> )	22,2 (1,6)	22,3 (1,4)	22,6 (1,7)	0,81

Os dados são apresentados como média (DP), exceto para o número e a porcentagem das mulheres participantes, n (%).

**Tabela 2.** Temperatura da pele nos sujeitos submetidos a diferentes modalidades de resfriamento.

Grupo de Intervenção	Temperatura da Pele (°C)		
	Pré-resfriamento	Pós-resfriamento	Diferença
Criomassagem	31,58 (1,07)	3,98 (1,15)	-27,6 (1,32) <sup>a</sup>
Pacote de Gelo	31,12 (2,13)	6,68 (3,4)	-24,43 (2,87) <sup>a</sup>
Imersão em água gelada	31,55 (0,89)	13,32 (1,33)	-18,23 (1,46) <sup>a</sup>

Dados são apresentados como média (DP).

<sup>a</sup> P < 0,0001 Diferença= pós-resfriamento – pré-resfriamento

**Tabela 3.** Parâmetros de condução registrados no nervo tibial posterior motor antes e depois da aplicação das modalidades de resfriamento.

Parâmetros de condução nervosa	Criomassagem			Pacote de Gelo			Imersão em Água Gelada		
	Pré-resfriamento	Pós-resfriamento	Diferença	Pré-resfriamento	Pós-resfriamento	Diferença	Pré-resfriamento	Pós-resfriamento	Diferença
Latência (ms)	3,47 (0,43) [3,19;3,74]	3,62 (0,46) [3,32;3,91]	0,15 (0,17) <sup>b</sup> [0,04;0,26]	3,82 (0,60) [3,44;4,21]	4,02 (0,63) [3,61;4,42]	0,19 (0,14) <sup>b</sup> [0,10;0,28]	3,61 (0,55) [3,26;3,96]	6,99 (0,93) [6,40;7,58]	3,38 (0,73) <sup>a</sup> [2,92;3,85]
VCN motora (m/s)	49,67 (3,31) [47,56;51,77]	47,17 (3,11) [45,20;49,14]	-2,50 (1,31) <sup>b</sup> [-3,34;-1,67]	49,58 (3,73) [47,21;51,95]	47,50 (2,81) [45,71;49,29]	-2,08 (1,56) <sup>a</sup> [-3,08;-1,09]	49,00 (3,59) [46,72;51,28]	40,67 (2,84) [38,86;42,47]	-8,33 (2,19) <sup>b</sup> [-9,72;-6,94]
Amplitude (mV)	14,9 (4,00) [12,36;17,44]	14,04 (3,98) [11,51;16,57]	-0,86 (1,77) [-1,99;0,27]	16,72 (2,70) [15,00;18,43]	16,12 (2,80) [16,12;14,34]	-0,60 (1,04) [-1,26;0,06]	15,63 (3,04) [13,69;17,56]	12,53 (3,06) [10,58;14,47]	-3,09 (3,20) <sup>b</sup> [-5,13;-1,06]
Duração (ms)	5,39 (0,50) [5,07;5,70]	5,74 (0,58) [5,37;6,11]	0,35 (0,26) <sup>b</sup> [0,18;0,52]	5,63 (1,04) [4,96;6,29]	6,00 (1,01) [5,36;6,64]	0,38 (0,16) <sup>a</sup> [0,27;0,48]	5,46 (0,67) [5,03;5,88]	8,64 (1,49) [7,70;9,59]	3,18 (1,37) <sup>b</sup> [2,31;4,05]

Dados são apresentados como média (DP), [95% CI]

Diferença= Pós-resfriamento - Pré-resfriamento

<sup>a</sup> P < ,0001 <sup>b</sup> P < ,05



**Tabela 4.** Parâmetros de condução registrados no nervo sural antes e depois da aplicação das modalidades de resfriamento.

Parâmetros de condução nervosa	Criomassagem			Pacote de Gelo			Imersão em Água Gelada		
	Pré-resfriamento	Pós-resfriamento	Diferença	Pré-resfriamento	Pós-resfriamento	Diferença	Pré-resfriamento	Pós-resfriamento	Diferença
Latência (ms)	2,93 (0,27) [2,76;3,11]	4,62 (1,21) [3,85;5,39]	1,68 (1,04) <sup>b</sup> [1,02;2,35]	3,17 (0,33) [2,96;3,38]	4,50 (0,71) [4,05;4,95]	1,33 (0,60) <sup>a</sup> [0,95;1,71]	3,08 (0,38) [2,84;3,32]	5,39 (0,70) [4,95;5,83]	2,31 (0,38) <sup>a</sup> [2,07;2,55]
VCN sensorial (m/s)	53,92 (2,84) [52,11;55,72]	33,50 (5,76) [29,84;37,16]	-20,42 (5,96) <sup>b</sup> [-24,20;-16,63]	52,42 (4,27) [49,70;55,13]	35,67 (6,91) [31,28;40,05]	-16,75 (5,53) <sup>b</sup> [-20,26;-13,24]	54,08 (4,56) [51,18;56,98]	31,50 (2,71) [29,78;33,22]	-22,58 (2,35) <sup>b</sup> [-24,08;-21,09]
Amplitude (µV)	39,29 (12,18) [31,55;47,03]	18,95 (11,30) [11,77;26,13]	-20,34 (9,54) <sup>a</sup> [-26,40;-14,28]	39,97 (11,31) [32,78;47,15]	24,86 (12,32) [17,03;32,69]	-15,11 (11,10) <sup>b</sup> [-22,16;-8,05]	40,79 (14,85) [31,36;50,22]	44,18 (14,49) [34,97;53,39]	3,39 (7,99) [-1,69;8,47]
Duração (ms)	1,26 (0,10) [1,20;1,32]	1,40 (0,17) [1,30;1,50]	0,14 (0,14) <sup>b</sup> [0,05;0,23]	1,38 (0,15) [1,28;1,47]	1,53 (0,19) [1,40;1,64]	0,15 (0,11) <sup>b</sup> [0,08;0,22]	1,33 (0,14) [1,23;1,42]	2,68 (0,20) [2,55;2,80]	1,35 (0,17) <sup>a</sup> [1,24;1,46]

Dados são apresentados como média (DP), [95% CI]

Diferença= Pós-resfriamento - Pré-resfriamento <sup>a</sup> P < ,0001 <sup>b</sup> P < ,05

**Tabela 5.** Efeitos das modalidades de resfriamento sobre os parâmetros de condução (ANCOVA, usando o grupo de criomassagem como referencia).

PARÂMETRO	NERVO TIBIAL MOTOR				NERVO SURAL			
	Pacote de Gelo		Imersão em Água Gelada		Pacote de Gelo		Imersão em Água Gelada	
	Coefficiente ( $\beta$ )	Probabilidade ( $p$ )	Coefficiente ( $\beta$ )	Probabilidade ( $p$ )	Coefficiente ( $\beta$ )	Probabilidade ( $p$ )	Coefficiente ( $\beta$ )	Probabilidade ( $p$ )
Latência	0,03	0,87	3,23	<0 ,0001	-0,54	0,08	0,50	0,09
VCN	0,39	0,51	-6,02	< 0,0001	3,18	0,12	-2,11	0,29
Amplitude	0,65	0,47	-2,08	0,022	5,43	0,15	24,16	<0 ,0001
Duração	0,04	0,92	2,84	<0,0001	0,02	0,73	1,22	<0,0001

**2.3 MANUSCRITO 3. EFEITO DA MARCHA E DO REPOUSO APÓS APLICAÇÃO DE TRÊS PROTOCOLOS DE CRIOTERAPIA NA RECUPERAÇÃO DA VELOCIDADE DE CONDUÇÃO SENSORIAL E MOTORA EM SUJEITOS SAUDÁVEIS.**

**SUBMETIDO À REVISTA BRASILEIRA DE FISIOTERAPIA**

**AUTORES:**

ESPERANZA HERRERA,<sup>1</sup> MARIA C. SANDOVAL,<sup>1</sup> DIANA M. CAMARGO,<sup>1</sup> TANIA F. SALVINI.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Fisioterapia. Facultad de Salud. Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga. Santander. Colômbia.

<sup>2</sup>Laboratório de Plasticidade Muscular, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos (SP), Brasil.

**CORRESPONDÊNCIA PARA:** Esperanza Herrera V. Ciudad Universitaria, Carrera 27 Calle 9. Escuela de Fisioterapia. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Santander. Colombia. Phone and Fax: +057-6358582. E-mail: [eshevi@uis.edu.co](mailto:eshevi@uis.edu.co)

**TÍTULO PARA AS PÁGINAS DO ARTIGO:** Efeito do exercício pós-crioterapia na recuperação da condução nervosa

**PALAVRAS-CHAVE:** crioterapia. Terapia por frio. Condução nervosa. Agentes de resfriamento. Nervo sural. Nervo tibial.

**RESUMO:**

**Contextualização:** Diferentes protocolos de crioterapia têm ação distinta nos parâmetros de condução neural sensorial e motora. No entanto, não se sabe como é o comportamento desses parâmetros no período pós-resfriamento e como o exercício físico realizado nesse período atuaria na recuperação da velocidade de condução nervosa (VCN). **Objetivos:** Comparar o efeito de três protocolos de crioterapia na VCN pós-resfriamento e analisar o efeito do exercício físico na recuperação da VCN sensorial e motora. **Métodos:** Trinta e seis sujeitos jovens e saudáveis foram alocados aleatoriamente em três grupos: criomassagem (n= 12), pacote de gelo (n= 12); imersão em água gelada (n= 12). As modalidades foram aplicadas na perna direita. Os sujeitos de cada grupo foram novamente aleatorizados para realizar uma atividade pós-resfriamento: a) 30 min de repouso; b) 15 min de marcha seguido de 15 min de repouso. Avaliou-se a VCN nos nervos sural (sensorial) e tibial posterior (motor). Comparações entre VCN inicial e final (30 min pós-resfriamento) foram realizadas com teste t de Student pareado. Os efeitos das modalidades e das atividades pós-resfriamento na VCN foram avaliados mediante análise de covariância. O nível de significância foi  $\alpha = 0,05$ . **Resultados:** Houve efeito diferente entre imersão e criomassagem na VCN sensorial final ( $P = 0,009$ ). Pacote de gelo e criomassagem apresentaram efeitos similares ( $P \geq 0,05$ ). A marcha acelerou a recuperação da VCN sensorial e motora, independente da modalidade previamente aplicada ( $P < 0,0001$ ). **Conclusões:** Imersão em água gelada foi o procedimento mais eficaz para manter a condução nervosa sensorial diminuída após o resfriamento. O exercício físico pós-crioterapia, com qualquer um dos três protocolos, acelera a recuperação da VCN sensorial e motora.

**ABSTRACT:**

**Background:** Different cryotherapy protocols have distinct effect on sensory and motor nerve conduction parameters. However, it is unclear how these parameters change during the post-cooling period and, how the exercise realized in this period would influence the recovery of nerve conduction velocity (NCV). **Objectives:** To compare the effects of three cryotherapy protocols on post-cooling NCV and to analyze the effect of exercise on recovery of sensory and motor NCV. **Methods:** Thirty six healthy young subjects were randomly allocated into three groups: ice massage (n= 12), ice pack (n= 12) and cold water immersion (n= 12). The modalities were applied on the right leg. The subjects of each modality group were again randomized to perform a post-cooling activity: a) 30 min rest, b) 15min walk followed by 15min rest. NCV of sural (sensory) and posterior tibial (motor) nerves was evaluated. Initial (pre-cooling) and final (30min post-cooling) NCV were compared using a paired t test. The effects of the modalities and the post-cooling activities on the NCV were evaluated by an analysis of covariance. The significance level was  $\alpha= 0.05$ . **Results:** There was a significant difference between immersion and ice massage on the final sensory NCV ( $P= 0.009$ ). Ice pack and ice massage showed similar effects ( $P > 0.05$ ). The walk accelerated the recovery of sensory and motor NCV, regardless of the modality previously applied ( $P < 0.0001$ ). **Conclusions:** Cold water immersion was the most effective modality to maintain reduced sensory nerve conduction after cooling. Exercise after cooling, with any of the three modalities, speeds the recovery of sensory and motor NCV.

**KEY WORDS:** Cryotherapy. Cold therapy. Nerve conduction. Cooling agents. Sural nerve. Tibial nerve.

## INTRODUÇÃO

A crioterapia é uma modalidade frequentemente usada no âmbito clínico e esportivo para o tratamento das lesões musculoesqueléticas na fase aguda e de reabilitação. Na fase aguda da lesão, a crioterapia é usada principalmente para diminuir o metabolismo, a hipoxia celular, a dor e o edema.<sup>1-6</sup> Já na fase de reabilitação, a crioterapia acelera o processo de reparação dos tecidos, diminui a dor facilitando a realização do exercício terapêutico e abrevia o tempo de recuperação funcional do indivíduo.<sup>1,3,4,6,7</sup>

A diminuição da temperatura tecidual é o efeito primário da crioterapia a partir da qual se derivam mudanças fisiológicas como a diminuição da atividade metabólica e da velocidade de condução nervosa (VCN).<sup>3,8</sup> Diversos estudos têm analisado a eficácia dos protocolos de crioterapia para reduzir a temperatura cutânea,<sup>8-14</sup> intramuscular<sup>7,9,14-16</sup> e articular.<sup>17</sup> Estudos prévios identificaram que o pacote de gelo picado, a criomassagem e a imersão em água gelada são as modalidades mais efetivas para induzir um resfriamento maior e acelerado.<sup>9-12</sup>

Outros estudos<sup>7,12,15</sup> têm comparado a eficácia de diferentes modalidades de crioterapia na manutenção do resfriamento tecidual após o seu término, isto é, no período de reaquecimento. Entende-se por reaquecimento a recuperação da temperatura dos tecidos em níveis similares ao pré-resfriamento.<sup>7</sup> Após a crioterapia a temperatura da pele se recupera rapidamente<sup>12</sup> enquanto que a temperatura intramuscular continua diminuindo por alguns minutos.<sup>15</sup> Em ambos os estudos<sup>12,15</sup> o reaquecimento dos tecidos foi analisado com os indivíduos em repouso.

Mais recentemente tem-se analisado o efeito do exercício realizado após a crioterapia sobre o reaquecimento dos tecidos. Myrer et al<sup>7</sup> identificaram que o exercício de caminhada moderada, comparado ao repouso, acelera o reaquecimento do músculo tríceps sural previamente resfriado com pacote de gelo picado. A possível explicação dessa observação é que o exercício aumenta o metabolismo, o fluxo sanguíneo e a produção de calor.<sup>7</sup> Em consequência, o exercício após a crioterapia poderia reduzir a duração de outros efeitos fisiológicos derivados do resfriamento, como por exemplo, a diminuição da VCN.

Existe uma relação linear e direta entre a temperatura tissular e a VCN.<sup>18-24</sup> Em decorrência, o resfriamento causa uma diminuição significativa da VCN sensorial e motora.<sup>23-25</sup> Sabe-se também que o efeito hipalgésico da crioterapia, evidenciado no aumento do limiar e da tolerância à dor, está associado à diminuição da VCN sensorial induzida pelo

resfriamento.<sup>24</sup> Apesar da importância da VCN no efeito hipotalgésico, poucos estudos<sup>23,25</sup> tem comparado a eficácia de distintas modalidades de crioterapia na diminuição da condução neural. Um estudo recente de nosso grupo<sup>25</sup> que avaliou os efeitos imediatos de pacote de gelo, criomassagem e imersão em água gelada sobre a VCN dos nervos sural e tibial posterior motor, mostrou que as três modalidades de resfriamento diminuíram significativamente a VCN de ambos os nervos. Contudo, as fibras nervosas sensoriais foram as mais afetadas pelo resfriamento e a imersão em água gelada foi a modalidade mais efetiva para diminuir a VCN, principalmente motora, provavelmente porque envolveu o resfriamento de uma área maior.

A literatura tem carência de estudos que analisem os efeitos tardios (pós-resfriamento) de distintos protocolos de crioterapia na VCN sensorial e motora. Em consequência não se sabe se as distintas modalidades de crioterapia estão associadas com diferenças na recuperação dos níveis basais (pré-resfriamento) da VCN sensorial motora. Além disso, nenhum estudo tem analisado o efeito de exercícios realizados imediatamente após o resfriamento na recuperação da VCN. Essas informações seriam importantes para auxiliar na indicação das diferentes modalidades de crioterapia para induzir efeitos terapêuticos associados à diminuição da VCN como a hipotalgesia. Esse tipo de estudo teria implicações clínicas importantes como, por exemplo, quando o exercício terapêutico é realizado após a crioterapia (criocinética)<sup>7</sup> ou quando o atleta retorna as atividades físicas imediatamente após ser tratado com crioterapia.

Os objetivos do presente estudo foram comparar os efeitos de três protocolos de crioterapia (criomassagem, pacote de gelo e imersão em água gelada) na VCN registrada 30 min pós-resfriamento e analisar o efeito do exercício físico (marcha) realizado após o resfriamento na VCN sensorial e motora. Considerando que a imersão em água gelada é mais efetiva que outras modalidades para diminuir a VCN,<sup>25</sup> assim como para manter o resfriamento muscular durante o reaquecimento,<sup>15</sup> a hipótese deste estudo é que a imersão em água gelada também será mais efetiva para manter as alterações da VCN no período pós-resfriamento, comparada a criomassagem e ao pacote de gelo. Além disso, considerando que foi identificado que o exercício físico pós-resfriamento acelera o reaquecimento intramuscular,<sup>7</sup> uma outra hipótese deste estudo é que o exercício físico pós-resfriamento também acelera a recuperação da VCN motora e sensorial.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um estudo experimental com alocação aleatória dos sujeitos em três grupos de intervenção (criomassagem, pacote de gelo e imersão em água gelada). Para a etapa pós-resfriamento, os sujeitos de cada grupo foram novamente aleatorizados para um dos dois grupos de atividade pós-resfriamento: a) 30 min de repouso; b) 15 min de marcha seguido de 15 min de repouso (Figura 1). Este protocolo pós-resfriamento é similar ao aplicado no estudo de Myrer et al,<sup>7</sup> um dos raros estudos que analisou o efeito do exercício no reaquecimento muscular pós-crioterapia. As variáveis independentes analisadas foram: modalidade de resfriamento, atividade pós-resfriamento e período de avaliação (pré-resfriamento e 30 min pós-resfriamento). A variável dependente foi a VCN motora e sensorial (m/s).

### Sujeitos

O projeto da pesquisa foi aprovado pelo Comitê Institucional de Ética em Pesquisa para estudos com seres humanos (parecer nº 18/2006, Universidad Industrial de Santander). Os sujeitos assinaram termo de consentimento livre-esclarecido após serem informados sobre os procedimentos experimentais, os riscos e os benefícios da pesquisa. Os critérios de exclusão foram: IMC  $\leq 18,5$  ou  $> 24,9$ , história de alcoolismo ou tabagismo, doença cardiovascular ou vascular periférica, diabetes, doença neurológica ou musculoesquelética, trauma recente ou perda de sensibilidade, reações adversas ao frio, fenômeno de Raynaud e gravidez.<sup>25</sup>

O cálculo do tamanho da amostra para cada grupo de intervenção foi determinado usando o comando *sampsi* do software *Stata* 9.0, considerando os seguintes critérios:  $\alpha = 0,05$ ;  $(1-\beta) = 0,9$ ; relação 1:1. O método de cálculo usado foi a análise de covariância (ANCOVA) para medidas repetidas, com uma medida inicial e outra final e correlação entre as medidas de  $r = 0,2$ . Esse método definiu uma amostra de 10-12 participantes para cada grupo de intervenção.

Trinta e seis sujeitos sadios (18 mulheres e 18 homens) foram selecionados e participaram no estudo. A média  $\pm$  desvio padrão (DP) de idade foi de  $20,5 \pm 1,9$  anos, massa de  $60,2 \pm 8,4$  kg, altura de  $1,63 \pm 0,1$  m e índice de massa corporal de  $22,4 \pm 1,6$  kg/m<sup>2</sup>.

### Instrumentos

Os testes de condução nervosa foram realizados com um aparelho Nicolet Compass Meridian<sup>TM</sup> (Nicolet Biomedical Company, USA). As modalidades de resfriamento foram



escolhidas por serem descritas como as mais efetivas para reduzir a temperatura dos tecidos.<sup>9-14,16,25</sup> Para a criomassagem foi utilizado um bloco de gelo de 279 g com dimensões de 8×10×5 cm. O pacote de gelo consistiu de um saco plástico de 18×8 cm sem ar que continha 279 g de gelo. A imersão foi realizada em um tanque de acrílico de 20×35×30 cm que continha água e gelo com temperatura aproximada de 10°C. A temperatura desta modalidade foi mensurada ao longo da intervenção e apresentou média inicial e final de  $8,9 \pm 1,0$  e  $7,8 \pm 1,2$ °C, respectivamente.

### **Procedimentos**

Para minimizar os efeitos do ritmo circadiano sobre a temperatura corporal os experimentos foram realizados no mesmo horário (14 às 18 horas). A alocação aleatória dos sujeitos nos grupos resfriamento e atividade pós-resfriamento foi realizada por uma sequência de números aleatórios gerada por computador.<sup>26</sup> Considerando que as mensurações pós-resfriamento deveriam ser realizadas imediatamente após a aplicação das modalidades, a mesma sala foi utilizada para a intervenção e avaliação. Dessa forma, o avaliador tinha conhecimento da intervenção realizada em cada indivíduo. A temperatura ambiente da sala foi mantida a  $24 \pm 0,08$ °C sem variação durante os testes ( $P = 0,29$ ). Os sujeitos foram instruídos a usar roupa confortável para atividade esportiva durante o experimento. O protocolo experimental foi desenvolvido em três fases: aclimatização (15 min), resfriamento (15 min) e pós-resfriamento (30 min), conforme a Figura 1.

#### *Fase de aclimatização*

Durante esta fase os sujeitos permaneceram em repouso em decúbito ventral durante 15 min em uma maca convencional. Nesse período foi determinada a área de resfriamento e foram colocados os eletrodos para os estudos de condução nervosa. Ao término desta fase foram obtidos os registros da VCN pré-resfriamento (Figura 1).

#### *Fase de resfriamento*

As modalidades de resfriamento foram aplicadas por um período de 15 min na panturrilha direita de cada um dos participantes, por um fisioterapeuta treinado para essa atividade. Esse período de aplicação foi escolhido por ser frequentemente usado na prática clínica e evitar os efeitos adversos da crioterapia.<sup>27</sup> Os procedimentos para a determinação da zona de resfriamento e aplicação das modalidades estão detalhados em estudo prévio.<sup>25</sup> Resumidamente, para a criomassagem e o pacote de gelo, os sujeitos permaneceram deitados

em prono e essas modalidades foram aplicadas em uma área retangular de (18 × 8 cm) da panturrilha direita; não foi usada compressão para a aplicação do pacote de gelo. Para a imersão em água gelada os sujeitos permaneceram sentados com sua perna introduzida em tanque de imersão até o bordo superior do retângulo marcado para as outras duas modalidades (Figura 2). Ao término dessa intervenção a perna era secada sem fricção com toalha e o sujeito retornava à maca para a realização dos registros da VCN imediatamente pós-resfriamento (Figura 1). Esses dados já foram publicados recentemente<sup>25</sup> e não foram considerados nas análises realizadas no presente estudo.

#### *Fase de pós-resfriamento*

Nesta fase os sujeitos realizaram uma das atividades definidas aleatoriamente. A metade dos sujeitos de cada grupo de modalidade (n = 6) permaneceu em repouso deitado em prono em uma maca durante 30 min. A outra metade dos sujeitos de cada grupo (n= 6) realizou marcha durante 15 min, seguida de 15 min de repouso em posição decúbito ventral. Após esse período foi realizada novamente a avaliação da VCN 30 min pós-resfriamento (Figura 1). A marcha foi realizada em uma área de 9,45 m<sup>2</sup> a uma velocidade de 90 batidas/min, controlada por metrônomo para homogeneizar a cadência da marcha. Desta forma os indivíduos davam o passo a cada “clique” do equipamento sonoro.

#### *Testes de condução nervosa*

A VCN foi registrada no nervo tibial posterior (motor) e no nervo sural (sensorial) nos tempos já mencionados (Figura 1). Esses nervos foram selecionados porque seu trajeto anatômico é relativamente superficial, coincidindo com a área de resfriamento selecionada neste estudo e as técnicas de captação foram bem descritas.<sup>25,28</sup> Além disso, o nervo tibial posterior é constituído principalmente por fibras nervosas motoras, já o nervo sural essencialmente por fibras sensitivas,<sup>18,28</sup> permitindo comparar as respostas dos dois tipos de fibras nervosas ao resfriamento e à atividade pós-resfriamento.

Os testes de condução nervosa foram realizados por um único examinador com treinamento e experiência suficiente nas técnicas de registro utilizadas. Boa confiabilidade dessas técnicas, aplicadas repetidamente por um mesmo avaliador, foi previamente determinada.<sup>25,29</sup> Eletrodos de superfície foram usados para estimular e registrar a resposta do nervo. Para controlar a variação técnica entre as mensurações sucessivas, os locais de registro e estimulação foram delimitados com marcador de tinta resistente à água. Os eletrodos de

registro não foram retirados durante a intervenção, exceto nos participantes do grupo de imersão. Nesse caso os eletrodos foram reposicionados nos locais previamente marcados. Para o cálculo da VCN foi determinada a latência no pico da onda negativa.<sup>25</sup>

### **Análise estatística**

Estatística descritiva foi usada para resumir as características da população e os dados da VCN, os quais são apresentados como média  $\pm$  DP.<sup>30</sup> As características dos participantes nos grupos das modalidades foram comparadas usando análise de variância (ANOVA) ou teste  $\chi^2$ , dependendo da escala de mensuração das variáveis.<sup>26</sup> A normalidade da VCN foi determinada pelo teste de Shapiro-Wilk.<sup>26,30</sup> Na sequência foi comparada a VCN registrada inicialmente e a VCN determinada 30 min após o resfriamento em cada grupo de atividade pós-resfriamento, pelo teste t de student pareado. Essa comparação visa verificar se houve ou não recuperação completa da VCN 30 min após o resfriamento.

Finalmente foi realizada uma análise de covariância (ANCOVA)<sup>31</sup> para comparar os efeitos das três modalidades e da atividade pós-resfriamento sobre a VCN registrada 30 min após o resfriamento, ajustando pela VCN medida imediatamente após o resfriamento. O grupo de comparação para analisar o efeito da modalidade foi criomasagem e da atividade pós-resfriamento, o repouso. Para a análise estatística foi utilizado o software *Stata 9.0* e considerado um nível de significância  $\alpha=0,05$ .

## **RESULTADOS**

Não houve diferença significativa entre as características dos participantes dos três grupos de modalidade, nem entre os sujeitos dos grupos de atividade pós-resfriamento ( $P > 0,05$ ; Tabela 1).

Na tabela 2 são apresentados os resultados das comparações entre a VCN inicial e a VCN final (30 min pós-resfriamento). Houve diferença entre a VCN inicial e final do nervo tibial posterior nos grupos que permaneceram em repouso, independentemente da modalidade usada ( $P \leq 0,003$ ). O grupo submetido à imersão em água gelada e que realizou marcha seguida de repouso também apresentou diferença ( $P=0,019$ ). Para o nervo sensorial foram observadas diferenças entre a VCN inicial e a VCN final (30 min pós-resfriamento) em todos os grupos ( $P \leq 0,03$ ), exceto naquele que realizou marcha seguida de repouso e que foi previamente resfriado com pacote de gelo ( $P=0,07$ ). De modo geral, as maiores magnitudes

das diferenças foram observadas para o nervo sensorial e para os grupos que permaneceram em repouso (Tabela 2).

O ANCOVA mostrou efeito estatisticamente diferente entre imersão em água gelada e criomassagem sobre a VCN do nervo sural avaliada 30 min após o resfriamento ( $P= 0,009$ ; Tabela 3). Essa diferença não foi observada para o nervo tibial posterior motor ( $P= 0,60$ ; Tabela 3). A comparação entre a criomassagem e o pacote de gelo não mostrou efeitos diferentes dessas modalidades sobre a VCN registrada nos dois nervos 30 min após o resfriamento ( $P > 0,05$ ; Tabela 3). Em relação ao efeito da atividade pós-resfriamento na recuperação da VCN motora e sensorial foi observado que a marcha por 15 min seguida de 15 min de repouso, comparada ao repouso por 30 min, acelerou a recuperação da VCN registrada nos dois nervos ( $P < 0,0001$ ; Tabela 3). Esse efeito foi mais evidente no nervo sensorial, sendo que o coeficiente determinado para o nervo sural foi maior ( $\beta= 7,12$ ) que o coeficiente determinado para o nervo tibial posterior motor ( $\beta= 3,99$ ); embora os intervalos de confiança 95% não foram estatisticamente diferentes (Tabela 3).

## DISCUSSÃO

Os resultados mostram que o exercício associado ao repouso e aplicado pós-resfriamento acelera a recuperação da VCN no nervo motor e sensorial, independente da modalidade de resfriamento usada, quando comparado ao grupo que permaneceu o tempo todo em repouso (Tabela 3). Além disso, a imersão em água gelada foi a modalidade mais eficaz para manter a diminuição da VCN 30 min após o resfriamento, principalmente no nervo sensorial, similar ao já observado em estudo prévio.<sup>25</sup> Esses resultados confirmam as hipóteses deste estudo.

Não foram encontrados estudos prévios que avaliaram o efeito da atividade pós-resfriamento sobre a VCN. Porém, tendo em vista a relação linear e direta identificada entre a temperatura tecidual e a VCN,<sup>18-24</sup> podemos relacionar nossos resultados com os achados de Myrer et al.<sup>7</sup> Eles pesquisaram o efeito do exercício (10 min de caminhada em esteira a 5,63 Km/h, seguidos de 20 min de repouso) sobre a recuperação da temperatura intramuscular, após aplicação de um pacote de gelo picado durante 20 min. O principal achado desse estudo foi que o exercício acelerou o reaquecimento muscular. Sabe-se que o exercício aumenta o metabolismo muscular, o fluxo sanguíneo e a produção de calor.<sup>7,32,33</sup> Portanto, os sujeitos

exercitados após o resfriamento ativam os processos fisiológicos que induzem uma recuperação mais rápida da temperatura intramuscular e consequentemente da VCN.

O efeito imediato do resfriamento sobre a VCN foi avaliado anteriormente por nosso grupo, mostrando que as fibras nervosas sensoriais são mais sensíveis ao resfriamento em relação às fibras motoras.<sup>25</sup> Os resultados do presente estudo também mostram que a magnitude das diferenças entre a VCN inicial e final (30 min pós-resfriamento) no nervo sensorial foi maior, quando os sujeitos permaneceram em repouso (Tabela 2). Contudo, foram verificadas diferenças significativas nessas variáveis, em ambos os nervos, após a aplicação das três modalidades (Tabela 2) mostrando que, principalmente em condições de repouso, 30 min pós-resfriamento não foram suficientes para recuperar completamente os valores iniciais da VCN sensorial e motora.

Diversos estudos<sup>8,10-12</sup> tem comparado a eficácia das modalidades medindo a temperatura da pele, sob a hipótese de que as mudanças da temperatura da pele tem estreita relação com as mudanças da temperatura subcutânea e intramuscular. Porém, já foi reportado que essa suposição não é completamente certa, porque a temperatura da pele não representa adequadamente as mudanças nos tecidos mais profundos e a eficiência do resfriamento, sendo que a temperatura da pele diminui mais acentuadamente e mais rapidamente que a temperatura do músculo.<sup>34,35</sup> Nossos resultados respaldam essa afirmação devido ao efeito diferencial do resfriamento sobre os dois nervos que percorrem profundidades diferentes. Consideramos que como o nervo sensorial localiza-se mais superficialmente, suas mudanças podem estar mais relacionadas com as variações da temperatura da pele,<sup>9,15</sup> enquanto que as mudanças observadas na VCN das fibras nervosas motoras, as quais se localizam mais profundamente, podem estar mais associadas à diminuição da temperatura intramuscular.

A comparação da eficácia das três modalidades para manter as alterações na VCN, registrada 30 min após o resfriamento no nervo sensorial, mostrou diferenças significativas a favor da imersão em água gelada (Tabela 3). Além disso, os dois grupos que receberam essa modalidade apresentaram diferenças entre a VCN inicial e a VCN registrada 30 min após o resfriamento, mostrando que não houve recuperação completa da VCN sensorial e motora, independente da atividade realizada após a imersão em água gelada (Tabela 2). Esse resultado é coerente com a maior eficácia da imersão em água gelada para diminuir a VCN sensorial e motora imediatamente após o resfriamento antes verificada.<sup>25</sup> A maior eficácia da

imersão para a manutenção da redução da VCN durante 30 min se deve, provavelmente, ao fato que esta modalidade resfria uma área maior em comparação com as outras duas, uma vez que praticamente toda a superfície da perna e o pé ficam imersos.

Consideramos que os nossos resultados contribuem com informações científicas adicionais e fornecem subsídios à prática clínica para a seleção e aplicação dos protocolos de crioterapia. Por exemplo, os resultados sugerem que quando se deseja manter a diminuição da VCN motora e sensorial induzida pela crioterapia, o sujeito deve ser mantido em repouso após a intervenção. A imersão em água gelada, como usada neste estudo, é a modalidade mais recomendada para manter efeitos terapêuticos derivados da alteração da condução nervosa sensorial, como a hipoalgesia. Nossos resultados também apóiam o uso da criocinética, visto que as três modalidades conseguiram alterar a condução sensorial nos níveis recomendados para produzir hipoalgesia,<sup>25</sup> o que permitiria uma melhor realização do exercício terapêutico após o resfriamento. Contudo, esse exercício limita a duração do efeito hipoalgésico, requerendo-se provavelmente repetir a crioterapia ou usar outra modalidade complementar após o exercício, para reforçar o efeito hipoalgésico.

Finalmente é importante advertir que a persistência da diminuição da VCN 30 min após o resfriamento, principalmente em condições de repouso, evidencia possíveis riscos de dano no nervo quando a crioterapia é aplicada durante tempos prolongados, em áreas onde o nervo transcorre superficialmente, e sem supervisão adequada. A literatura tem mostrado casos de neuropatia como efeito deletério da crioterapia aplicada no trajeto dos nervos periféricos mais superficiais.<sup>27,36</sup>

O presente estudo tem algumas limitações metodológicas que merecem ser consideradas na análise de seus resultados: a área de resfriamento da criomassagem e do pacote de gelo foi menor que a de imersão em água gelada; a população do estudo foi composta por sujeitos jovens e saudáveis, sendo possível que o resfriamento cause efeitos diferentes em idosos e sujeitos clinicamente alterados; o fato de que o examinador conhecia a modalidade usada em cada grupo prejudica a validade interna do estudo; a ausência de outra avaliação da VCN realizada imediatamente após a marcha, não permitiu verificar se maiores efeitos do exercício físico sobre a recuperação da VCN foram mascarados nos 15 min de repouso.

## CONCLUSSÕES

A atividade física realizada após o resfriamento acelerou a recuperação da condução nervosa sensorial e motora. A imersão em água gelada, como aplicada, foi a modalidade mais eficaz para manter diminuída a condução nervosa sensorial.

## AGRADECIMENTOS:

A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (Capes, Brasil) pela concessão de sua bolsa de doutorado.

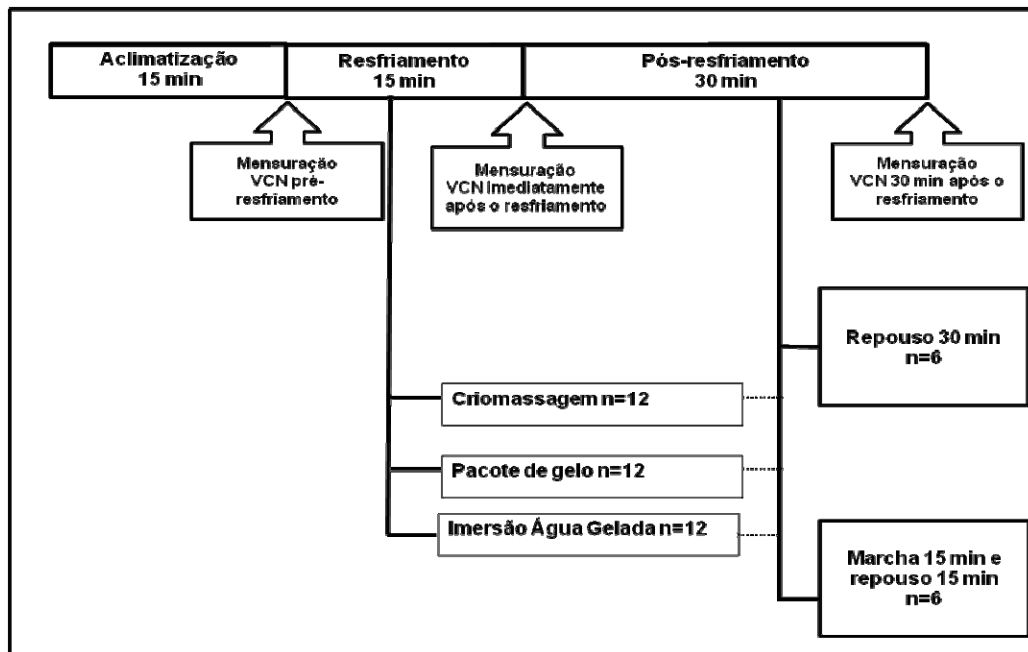
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bleakley C, McDonough S, MacAuley D. Use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury. A systematic review of randomized controlled trials. *Am J Sports Med* 2004; 32: 251-261.
2. Oliveira NML, Rainero EP, Salvini TF. Three intermittent sessions of cryotherapy reduce the secondary muscle injury in skeletal muscle of rat. *Journal Sports Science & Medicine* 2006; 5: 228-234.
3. Nadler SF, Weingand K, Kruse RJ. The physiological basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician* 2004; 7: 395-399.
4. Olson JE, Stravino VD. A review of cryotherapy. *Phys Ther* 1972; 52:840-853.
5. Kowal MA. Review of physiological effects of cryotherapy. *J Orthop Sports Phys Ther* 1983; 5:66-73.
6. Hubbard TJ, Aronson SL, Denegar CR. Does cryotherapy hasten return to participation? A systematic review. *J Athl Train* 2004; 39: 88-94.
7. Myrer JW, Measom GJ, Fellingham GW. Exercise after cryotherapy greatly enhances intramuscular rewarming. *J Athl Train* 2000; 35(4):412-416.
8. Chesterton LS, Foster NE, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 543 - 549.
9. Merrick MA, Jutte LS, Smith ME. Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *J Athl Train* 2003; 38: 28-33.
10. Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86:1411-1415.

11. Janwantanakul P. Different rate of cooling time and magnitude of cooling temperature during ice bag treatment with and with damp towel wrap. *Phys Ther Sport* 2004; 5:156-161.
12. Kennet J, Hardaker N, Hobbs S, Selfe J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train* 2007; 42: 343-348.
13. Belitsky RB, Odam SJ, Hubley-Kozey C. Evaluation of the effectiveness of wet ice, dry ice, and cryogen packs in reducing skin temperature. *Phys Ther* 1987; 67:1080-1084.
14. Dykstra JH, Hill HM, Miller MG, Cheatham CC, Michael TJ, Baker RJ. Comparisons of cubed ice, crushed ice, and wetted ice on intramuscular and surface temperature changes. *J Athl Train* 2009; 44(2):136–141.
15. Myrer JW, Measom G, Fellingham GW. Temperature changes in the human leg during and after two methods of cryotherapy. *J Athl Train* 1998; 33: 25-29.
16. Zemke JE, Andersen JC, Guion WK, McMillan J, Joyner AB. Intramuscular temperature responses in the human leg to two forms of cryotherapy: ice massage and ice bag. *J Orthop Sports Phys Ther* 1998; 27:301-307.
17. Warren TA, McCarty EC, Richardson AL, Michener T, Spindler KP. Intra-articular knee temperature: changes ice versus cryotherapy device. *Am J Sports Med* 2004; 32:441-445.
18. Greathouse DG, Currier DP, Joseph BS, Shippee RL, Matulionis DH. Electrophysiologic responses of human sural nerve to temperature. *Phys Ther* 1989; 69: 914-922.
19. Dioszeghy P, Stalberg E. Changes in motor and sensory nerve conduction parameters with temperature in normal and diseased nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1992; 85: 229-35.
20. Halar EM, DeLisa JA, Brozovich FV. Nerve conduction velocity: relationship of skin subcutaneous and intramuscular temperatures. *Arch Phys Med Rehabil* 1980; 61: 199-203.
21. Halar EM, Delisa JA, Brozovich FV. Peroneal Nerve Conduction Velocity: The importance of temperature correction. *Arch Phys Med Rehabil* 1981; 62: 439-443.
22. Halar EM, DeLisa JA, Soine TL. Nerve conduction studies in upper extremities: skin temperature corrections. *Arch Phys Med Rehabil* 1983; 64:412-416.
23. McMeeken J, Lewis MM, Cocks S. Effects of cooling with simulated ice on skin temperature and nerve conduction velocity. *Aust J Physiother* 1984; 30: 111-114.
24. Algafly AA, George KP. The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *Br J Sports Med* 2007; 41: 365-369.



25. Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM, Salvini TF. Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage and cold water immersion. *Phys Ther* 2010; 90: 581-591
26. Pagano M. Principles of biostatistics. Belmont, Ca; Duxbury Press; 1993.
27. Malone TR, Engelhardt DL, Kirkpatrick JS, Bassett FH. Nerve injury in athletes caused by cryotherapy. *J Athl Train* 1992; 27: 235-237.
28. Oh SJ. Clinical electromyography: nerve conduction studies. 3rd ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins; 2003.
29. Herrera E, Camargo DM, Delgado DC, Salvini TF. Reliability of superficial peroneal, sural and medial plantar nerve conduction studies: analysis of statistical methods. *J Clin Neurophysiol* 2009; 26: 295-380.
30. Siegel S, Castellan NJ. Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill Inc; 1988.
31. Vickers AJ, Altman DG. Analyzing controlled trials with baseline and follow up measurements. *BMJ* 2001; 323:1123–1124.
32. Bender AL, Kramer EE, Brucker JB, Demchak TJ, Cordova ML, Stone MB. Local Ice-Bag application and triceps surae muscle temperature during treadmill walking. *J Athl Train*. 2005; 40: 271–275.
33. Birch K, MacLaren D, George K. Sport and Exercise Physiology (Instant Notes). 1<sup>st</sup> ed. New York, Garland Science/BIOS Scientific Publishers; 2005
34. Jutte LS, Merrick MA, Ingersoll CD, Edwards JE. The relationship between Intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82: 845-50.
35. Otte JW, Merrick MA, Ingersoll CD, Cordova ML. Subcutaneous adipose tissue thickness alters cooling time during cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 1501-1505.
36. Drez D, Faust DC, Evans JP. Cryotherapy and nerve palsy. *Am J Sports Med* 1981; 9: 256-257.



**Figura 1. Etapas do estudo experimental, grupos de intervenção e tempos de mensuração da velocidade de condução nervosa (VCN) sensorial e motora.** Cada sessão experimental teve uma duração aproximada de 60 min e consistiu de três etapas: aclimatização, resfriamento e pós-resfriamento. A VCN foi mensurada nos três momentos indicados na figura. Os sujeitos foram alocados aleatoriamente em um dos grupos de resfriamento: criomassagem, pacote de gelo e imersão em água gelada. Para etapa de pós-resfriamento os sujeitos de cada um dos grupos de modalidade foram novamente aleatorizados para realizar uma das atividades pós-resfriamento: repouso 30 min ou marcha 15 min mais repouso 15 min.



**Figura 2. Modalidades de crioterapia.** A. Criomassagem; B. Pacote de Gelo; C. Imersão em Água Gelada. A criomassagem e o pacote de gelo foram aplicados na panturrilha em uma área retangular de 18 x 8 cm. Criomassagem foi realizada por deslocamentos longitudinais contínuos. O pacote de gelo foi colocado diretamente na pele e sem compressão. Para a imersão em água gelada, a perna direita dos participantes foi submergida até a borda superior do retângulo usado para delimitar a zona de resfriamento das outras duas modalidades.

**Tabela 1. Características dos participantes nos grupos de modalidade e de atividade pós-resfriamento.**

Variável	Criomassagem				Pacote de Gelo				Imersão em água gelada			
	Todos (n= 12)	Repouso (n= 6)	Marcha e repouso (n= 6)	Valor de <i>p</i>	Todos (n= 12)	Repouso (n= 6)	Marcha e repouso (n= 6)	Valor de <i>p</i>	Todos (n= 12)	Repouso (n= 6)	Marcha e Repouso (n= 6)	Valor de <i>p</i>
Idade (anos)	19,7 ±1,3	19,8 ±1,7	19,7 ±0,8	0,83	20,7 ±1 ,3	20,7 ±1,8	20,8 ±1,0	0,84	20,9 ± 2,6	21,5 ±2,3	20,3 ±2,9	0,46
Mulheres n (%)	5 ±41,7	3 ±50,0	2 ±33,3	0,56	6 ±50	2 ±33,3	4 ±66,7	0,25	7 ±58,3	4 ±66,7	3 ±50,0	0,56
Altura (m)	1,61 ±0,1	1,64 ±0,1	1,59 ±0,1	0,19	1,64 ±0,1	1,63 ±0,1	1,66 ±0,1	0,59	1,65 ±0,1	1,66 ±0,1	1,65 ±0,1	0,85
Massa (Kg)	58 ±7,1	59,9 ±6,4	56,3 ±7,9	0,40	60,4 ±8,6	60,7 ±6,5	60,2 ±10,9	0,93	62,1 ±9,7	64,8 ±10,6	59,6 ±9,0	0,38
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	22,2 ±1,6	22,2 ±1,6	22,3 ±1,9	0,91	22,3 ±1,4	22,9 ±1,4	21,7 ±1,2	0,14	22,6 ±1,7	23,4 ±1,3	21,9 ±1,8	0,11

Dados correspondem à média ± DP, exceto para o número e porcentagem de mulheres participantes.

**Tabela 2. Resultados do teste t pareado comparando a VCN inicial com a VCN registrada 30 min após o resfriamento em cada grupo de atividade pós-resfriamento**

Modalidade	Atividade pós-resfriamento	VCN do Tibial Posterior (motor)				VCN do Sural (sensorial)			
		Pré-resfriamento	30 min pós-resfriamento	Diferença	<i>P</i>	Pré-resfriamento	30 min pós-resfriamento	Diferença	<i>P</i>
Criomassagem	Repouso	50,3±2,2	45,7±2,7	-4,7±2,2	0,003	53,7±2,8	45,7±6,0	-8,0±4,9	0,01
	Marcha e repouso	49,0±4,3	47,2±3,2	-1,8±2,0	0,08	54,2±3,1	52,2±3,5	-2,0±1,7	0,03
Pacote de Gelo	Repouso	50,2±4,8	44,7±4,1	-5,5±1,4	0,0002	51,5±5,2	44,5±4,2	-7,0±2,4	0,0008
	Marcha e repouso	49,0±2,5	49,2±1,5	0,2±2,9	0,89	53,3±3,3	51,5±2,4	-1,8±1,9	0,07
Imersão em água gelada	Repouso	49,7±3,8	40,0±4,2	-9,7±3,6	0,001	54,8±2,4	39,5±2,3	-15,3±1,8	0,0000
	Marcha e repouso	48,3±3,6	43,8±3,4	-4,5±3,2	0,019	53,3±6,2	48,5±4,9	-4,8±,6	0,02

VCN: velocidade de condução nervosa

**Tabela 3. Comparação do efeito das modalidades de resfriamento e da atividade pós-resfriamento sobre a VCN 30 min pós-resfriamento, pela análise de covariância (ANCOVA). A VCN 30 min pós-resfriamento foi ajustada pela VCN imediatamente pós-resfriamento. A modalidade de resfriamento de comparação foi a criomassagem e a atividade pós-resfriamento foi o repouso.**

Variável	Nervo Tibial Posterior (motor)			Nervo Sural (sensorial)		
	Coefficiente ( $\beta$ )	Intervalo de Confiança 95%	Probabilidade ( <i>P</i> )	Coefficiente ( $\beta$ )	Intervalo de Confiança 95%	Probabilidade ( <i>P</i> )
Pacote de gelo	0,23	-1,72 ; 2,19	0,81	-1,59	-4,73 ; 1,55	0,31
Imersão em água gelada	0,70	-2,00 ; 3,41	0,60	-4,23	-7,43 ; -1,15	0,009
Atividade pós-resfriamento: marcha 15 min + repouso 15 min	3,99	2,37 ; 5,60	< 0,0001	7,12	4,57 ; 9,67	< 0,0001

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E OUTRAS EXPERIÊNCIAS NO DOUTORADO

Os testes de condução nervosa fornecem medidas quantitativas que subsidiam análises objetivas e úteis na avaliação dos efeitos fisiológicos neurais de alguns recursos terapêuticos. A utilização destes testes na análise dos efeitos de três modalidades de resfriamento na condução neural permitiu concluir que a crioterapia altera os parâmetros de condução nervosa sensorial e motora. Contudo, a magnitude e duração desses efeitos dependem do tipo de modalidade usada e da atividade que se realiza após o resfriamento, sendo que o exercício físico acelera a recuperação dos parâmetros de condução neural.

Durante o doutorado foram realizadas outras atividades de pesquisa. Cabe destacar a orientação de um trabalho de graduação de uma aluna do curso de Fisioterapia da UFSCar, no qual foram avaliados os efeitos da imersão em água gelada nas variáveis isocinéticas de flexão plantar concêntrica em três velocidades angulares (30, 60 e 120°/seg). Os resultados deste estudo mostraram que a imersão em água gelada diminui o pico de torque, potência e trabalho total da flexão plantar. O manuscrito resultante deste estudo esta em preparação.

Durante o doutorado também foram publicados três manuscritos em um periódico colombiano indexado pela Colciencias e apresentados três trabalhos derivados da tese no XVIII Congresso Brasileiro de Fisioterapia. Além disso, foi realizada uma visita ao Programa de Mestrado em Fisioterapia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, onde foram compartilhadas experiências científicas.

Além disso, o projeto intitulado *Efeitos de Duas Modalidades de Crioterapia no Torque Articular, no Reflexo H e na Atividade Eletromiográfica do Músculo Tríceps Sural* foi recentemente aprovado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Edital CNPq N° 015/2009 - Convênios Bilaterais de Cooperação Internacional, Processo 490176/2009-7) e o Departamento Administrativo de Ciência, Tecnologia e Inovação da Colômbia - Colciencias.

A realização deste projeto da continuidade à cooperação que os Programas de Pós-Graduação em Fisioterapia e Fisiologia da UFSCar vêm oferecendo à Universidade Industrial

de Santander – UIS, mediante a formação de seus docentes nos níveis de Mestrado e Doutorado e a execução conjunta de pesquisas. Um dos principais objetivos deste projeto é manter a parceria científica e contribuir com a implantação do primeiro Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia na Colômbia, a ser oferecido pela equipe da UIS, já em 2011.

A equipe brasileira será formada por três docentes do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar e uma pós-doutoranda. A equipe de trabalho colombiana contará com três professoras sendo uma doutora em Fisioterapia e duas doutorandas da UFSCar, todas elas com vínculo empregatício na UIS. A aprovação do apoio bilateral para o desenvolvimento deste projeto possibilita a consolidação das cooperações em andamento, a troca de tecnologia e conhecimento e o intercâmbio cultural entre os alunos e professores envolvidos. Espera-se também a criação de novas oportunidades de cooperação.

Na parte final do doutorado realizei os testes pilotos para o desenvolvimento do projeto CNPq-Colciencias, elaborei uma proposta de pesquisa intitulada *Alteraciones de la marcha y la fuerza muscular y su relación con la condición neuropática en pacientes diabéticos tipo 2* e participei como co-autora na elaboração de outro projeto (*Efecto del ejercicio isocinético y la estimulación eléctrica funcional sobre la marcha, el tono y la calidad de vida de pacientes con enfermedad cerebrovascular*). Esses dois projetos foram apresentados pelo Grupo de Estudo da Dor, do qual faço parte na Colômbia, e estão participando na convocatória de Colciencias 2010, para financiamento de pesquisa. Com a aprovação desses projetos, esperamos implementar o laboratório de dinamometria na UIS.

Finalmente, em virtude do tempo que morei no Brasil como aluna estrangeira, este doutorado me permitiu ampliar o conhecimento da língua portuguesa, da cultura e política brasileira, além de identificar parcerias científicas e culturais que vão enriquecer meu desempenho integral como docente e a favorecer as relações internacionais do Programa de Fisioterapia no qual trabalho.



# ANEXOS

# Reliability of Superficial Peroneal, Sural, and Medial Plantar Nerve Conduction Studies

## *Analysis of Statistical Methods*

Esperanza Herrera,\* Diana M. Camargo,\* Diana C. Delgado,\* and Tania F. Salvini†

**Abstract:** The reliability of medial plantar, sural, and superficial peroneal nerve conduction studies (NCS) has not been widely studied. These nerves are usually involved in distal sensory neuropathies and their serial study is relevant in the clinical setting.

**Purpose:** To determine the inter- and intrarater reliability of superficial peroneal, sural, and medial plantar NCS in healthy participants.

**Methods:** Two raters performed the bilateral NCS twice in 20 healthy participants ( $23.5 \pm 3.5$  years). Reliability was analyzed by the Bland-Altman method and intraclass correlation coefficient (ICC). Variability was established by the coefficient of variation.

**Results:** The Bland-Altman method showed a good level of intra- and interrater agreement for all nerves. The amplitude (rater 1) and latency of the medial plantar nerve and the amplitude of the sural nerve (rater 2) had an intrarater ICC of  $\geq 0.75$ . Interrater analysis showed concordance levels between moderate and very low. The highest coefficients of variations were found for amplitude and the lowest for nerve conduction velocity.

**Conclusions:** Although the Bland-Altman method confirmed a good intra- and interrater reliability of the studied nerves, ICC analyses showed mixed results. These statistical approaches are complementary, and each one has advantages and disadvantages that must be considered in their application and interpretation.

**Key Words:** Nerve conduction studies, Nerve conduction velocity, Bland-Altman method, Reliability, Concordance.

(*J Clin Neurophysiol* 2009;26: 372–379)

The recording of sensory nerve action potential (SNAP) is an important component of electrodiagnostic testing. It has been widely used since the late 1950s to determine the degree of abnormality in certain neuropathies and in the respective clinical procedure. Nerve conduction studies (NCS) have also been used in electrodiagnostic testing to determine the effectiveness of therapeutic interventions (Honet et al., 1968; Karsidag et al., 2005; Kohara et al., 2000) and to validate other diagnostic tests (Valk et al., 1997). However, several sources of error must be properly controlled to increase the reliability of serial measurements, such as the instrument, environment, rater, and participant characteristics (Domholdt, 2005). Thus, the variability of nerve conduction parameters depends

on both technical and physiologic factors. The technical factors refer to recording method, electrode type, stimulus intensity, room temperature, and distance between stimulating and recording electrodes (Chodoroff et al., 1985; Kimura, 2001; Maynard and Stolov, 1972; Schuchmann, 1977). Physiologic factors are described as skin temperature, anatomic variation (Oh, 2003), age, height, and other anthropometric gender-related factors (Bolton and Carter, 1980; Dorfman and Bosley, 1979).

The evaluation of diagnostic tests includes the demonstration of their reliability, validity, and responsiveness (Streiner and Norman, 2003). Several terms have been related to reliability such as agreement, concordance, variability, repeatability, precision, and reproducibility. These terms are sometimes used as synonyms, but only a few of them have a formal definition (Hinderer and Hinderer, 2005). In this study, the term reliability refers to the consistency or stability of the measurement process across time, participants, and observers. It also refers to the degree to which measurements are error free and the degree to which repeated measurements will agree (McDowell, 2006). Classic test theory views the value obtained from any measurement as a combination of two components: an underlying true score and some degree of error, both random and systematic. Therefore, small error means that the measure is more reliable (Domholdt, 2005).

In general, the analytical methods of determining the reliability of a diagnostic test have not been completely developed, and several limitations have been found for both analytical and clinical interpretation (Rankin and Stokes, 1998; Streiner and Norman, 2003). Thus, the intraclass correlation coefficient (ICC) can be used with small samples and data obtained from more than two occasions, recorded in ordinal or ratio scales. However, it is recognized that the use of ICC alone for the analysis of reliability is not sufficient because, if the sample is homogeneous, its value may be low despite a good level of agreement (Lexell and Downham, 2005).

An alternative way to assess reliability is to determine intra- and interrater agreements by the Bland-Altman method. It is a simple graphic technique that uses elementary statistical calculations. This approach allows systematic differences to be established between two measurements (Bland and Altman, 1986, 2007). It is important to consider that the data obtained from this method are reported in the same scale as the original variables, allowing clinical practitioners to determine whether the differences detected among measurements are relevant (Lexell and Downham, 2005).

With regard to the statistical methods of analyzing the reliability of the serial measurements of NCS, some studies used the ICC to determine intra- (Salerno et al., 1999) and interrater reliability (Dyck et al., 1991; Kohara et al., 2000; Salerno et al., 1999; Schuhfried et al., 2005). Many researchers have applied the coefficient of variation (CV) to analyze measurement variability (Bleasel and Tuck, 1991; Bril et al., 1998; Halar and Venkatesh, 1976; Lew et al., 2005). Other reported statistical methods are analysis of

From the \*Department of Physical Therapy, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia; †Department of Physical Therapy, Musculoskeletal Plasticity Unit, Federal University of São Carlos, São Carlos, SP, Brazil.

Address correspondence and reprint requests to Esperanza Herrera, Escuela de Fisioterapia, Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia; e-mail: eshevi@uis.edu.co.

Copyright © 2009 by the American Clinical Neurophysiology Society  
ISSN: 0736-0258/09/2605-0372

variance (Chaudhry et al., 1991, 1994), relative intertrial variation (Kohara et al., 2000), coefficient of repeatability (Schuhfried et al., 2005), and Bland-Altman method, which has only been applied by Kong et al. (2006) and Løseth et al. (2007). Comparing the reliability results of those studies is not easy because of the differences in the statistical methods, size, and attributes of the tested samples.

To our knowledge, the reliability of medial plantar NCS has not been widely studied (Løseth et al., 2007), and superficial peroneal NCS has to be determined yet. In addition, only few studies on sural reliability were conducted using ICC (Kohara et al., 2000), and none of them used the Bland-Altman method. The study of reliability for these nerve measures is extremely relevant, because they are commonly used for serial follow-up of distal sensory neuropathies.

The purpose of this study was to determine both inter- and intrarater reliability of nerve conduction velocity (NCV), latency, duration, and amplitude of SNAP from the superficial peroneal, sural, and medial plantar nerves in healthy participants. Our results contribute to the discussion about advantages and disadvantages of analytical methods commonly used to analyze aspects related to the reliability of NCS.

## METHODS

The Ethics Committee of the Health Faculty of Universidad Industrial de Santander approved the study according to the Helsinki Declaration of 1975. All participants signed a consent form.

Twenty healthy and physically active participants, aged 18 to 30 years, volunteered for this study. The sample showed equal distribution by gender; their mean age was  $23.5 \pm 3.5$  years (range, 18 to 30 years), mean height was  $1.68 \pm 0.1$  m, mean body mass  $62 \pm 8.5$  kg, and mean body mass index  $21.9 \pm 1.8$  kg/m<sup>2</sup>. A health questionnaire and medical assessment were used to exclude individuals with a history of neurologic diseases (central or peripheral), systemic disease with potential involvement of the nervous system, hypertension, genetic neuromuscular syndromes, mental disease, trauma and sequelae in either lower limbs or spinal cord surgery, or neurotoxin exposure, alcohol intake above 100 g/d for at least 2 years, substance abuse, pregnancy or puerperal state, body mass index below 18.5 or >25, and any other clinical condition that could alter or contraindicate the procedures (Aminoff, 1998; D'Amour et al., 2000; Hiza et al., 2000). Moreover, to confirm the normality of the nerve, a sensory Semmes-Weinstein Monofilament test was applied (Valk et al., 1997).

NCS were performed bilaterally on superficial peroneal, sural, and medial plantar nerves by two different raters. To enhance the independence of measurement and to avoid interpretation bias, all participants were examined twice by two raters within a period of 8 to 15 days (Begg and McNeil, 1988; Ransohoff and Feinstein, 1978); each rater was blinded to the prior results and the data obtained by the other rater. The nerve conduction parameters considered were as follows: stimulus intensity in volts, negative peak latency in milliseconds, peak-to-peak amplitude of the SNAP in microvolts, duration from onset to end of negative deflection in milliseconds, distance between active and recording electrode in millimeter, and NCV in meter per second.

## SNAP Recording Techniques

All studies were performed using a Nicolet Compass Meridian (Madison, WI) with a bandwidth setting of 20 Hz to 3 kHz, a gain of 10  $\mu$ V/division for superficial peroneal recordings, 20  $\mu$ V/division for sural recordings, and 2  $\mu$ V/division for medial plantar recordings, and a sweep speed of 1 millisecond/division. Stimuli were 100 microseconds rectangular pulses with amplitude adjusted to slightly more than needed to ensure a maximum response. Recordings were performed at a mean temperature of

$23.3 \pm 1.5^\circ\text{C}$  and skin temperature of  $29.4 \pm 1.2^\circ\text{C}$  measured on the dorsum of the foot.

Before starting the NCS, participants rested on the examining table for 15 minutes. The skin over the stimulating and recording sites was cleaned. Nerves were tested in the following order: superficial peroneal, sural, and medial plantar nerve, starting with the left limb. The anatomic landmark method was used for the electrode placement. The nerve signals were obtained by averaging 20 responses. When the superficial peroneal nerve was evaluated, the participants lay supine, and for the plantar and sural studies, they lay prone. Prior instructions were given to the participants to avoid sudden movements of electrodes or legs. At the end of each test, the temperature in the recording site was measured.

The medial dorsal cutaneous branch of the superficial peroneal nerve was evaluated using an antidromic technique. The active surface recording electrode was placed between the lateral and medial malleolus and the nerve was stimulated 14 cm from the proximal recording electrodes on the anterior lateral aspect of the leg. For sural NCS, the recording electrode was placed just behind the lateral malleolus and the stimulating electrode was approximately 14 cm proximal to the active recording electrode just lateral to the midline of the width of the calf muscle. Finally, the medial plantar nerve was tested using an orthodromic method. The nerve was stimulated through two ring electrodes around the hallux, cathode proximal to the anode. The hallux was separated from the other toes by a strip of plastic sheet. The active recording electrode was placed over a point at which the posterior tibial artery could be palpated, close to the medial malleolus of the ankle. For all techniques, the ground electrode was placed on the calf muscle.

## Statistical Analysis

The variables were described applying means and standard deviation or medians and interquartile ranges (Pagano and Gauvreau, 1993). The normality of each parameter was assessed using the Shapiro-Wilk test (Siegel, 1989), and the differences between measurements of the left and right leg were compared applying a paired *t* test (Pagano and Gauvreau, 1993) or Wilcoxon matched-pairs test (Siegel, 1989). Intra- and interrater reliabilities were evaluated by the Bland-Altman method (Bland and Altman, 1986) and ICC (Bartko, 1976). The variability of the measurements was established applying the CV (Armitage and Berry, 1987).

## Bland-Altman Method

This method is an absolute measure of agreement between two measures or instruments that are on the same scale of measurement (Bland and Altman, 1986). The approach is used for pairs of observations and begins with a plot of the difference between the two measures against the mean of the pairs of measures; then, the average difference (*d*) of the measures and the standard deviations of the differences ( $SD_{\text{diff}}$ ) are calculated. The agreement level increases when the differences get close to zero and the 95% limits of agreement get narrower. This method allows the identification of systematic biases of measurement, when the mean difference is positive or negative and 95% confidence interval do not include zero (Bland and Altman, 2007).

$$d = \sum (\text{measurement 1} - \text{measurement 2}) / \text{number of observations}$$

$$\text{Limits of agreement} = d \pm 2SD_{\text{diff}}$$

## Intraclass Correlation Coefficient

The ICC quantifies the concordance among measurements of either ordinal or ratio scale variables (Bartko, 1976). Thus, it provides an estimate of the mean for all correlations between all possible pairs of available combinations of measurements of both intra- and interrater

analyses. In fact, when the value gets closer to 1.0 the concordance increases and, therefore, values greater than 0.75 indicate good concordance between measurements (Domholdt, 2005). The mathematical base of the ICC calculations is the analysis of variance table for repeated measures analysis of variance (Keating and Matyas, 1998), which includes three sources of variation: between participants, between raters, and the random error inherent to any measurement process.

Several mathematical formulas are used to calculate the ICC; its selection depends on the study design. If each participant is evaluated by the same group of raters, the following formula is recommended:

$$\text{ICC} = \frac{\text{MS}_{\text{inter}} - \text{MS}_{\text{error}}}{\text{MS}_{\text{inter}} + (k - 1) \times \text{MS}_{\text{error}}}$$

where  $k$  is the number of raters,  $\text{MS}_{\text{inter}}$  is the mean square inter-participants, and  $\text{MS}_{\text{error}}$  is the mean square of error or residual.

### Coefficient of Variation

Considering that the nerve conduction parameters are measured in different units, their internal dispersion was established using CV to determine which parameters showed the higher percentage of variability (Armitage and Berry, 1987). The CV is defined as the ratio of the standard deviation to the mean; a higher CV suggests greater variability of the measured value:

$$\text{CV} = |\text{Standard deviation}/\text{Mean}| \times 100$$

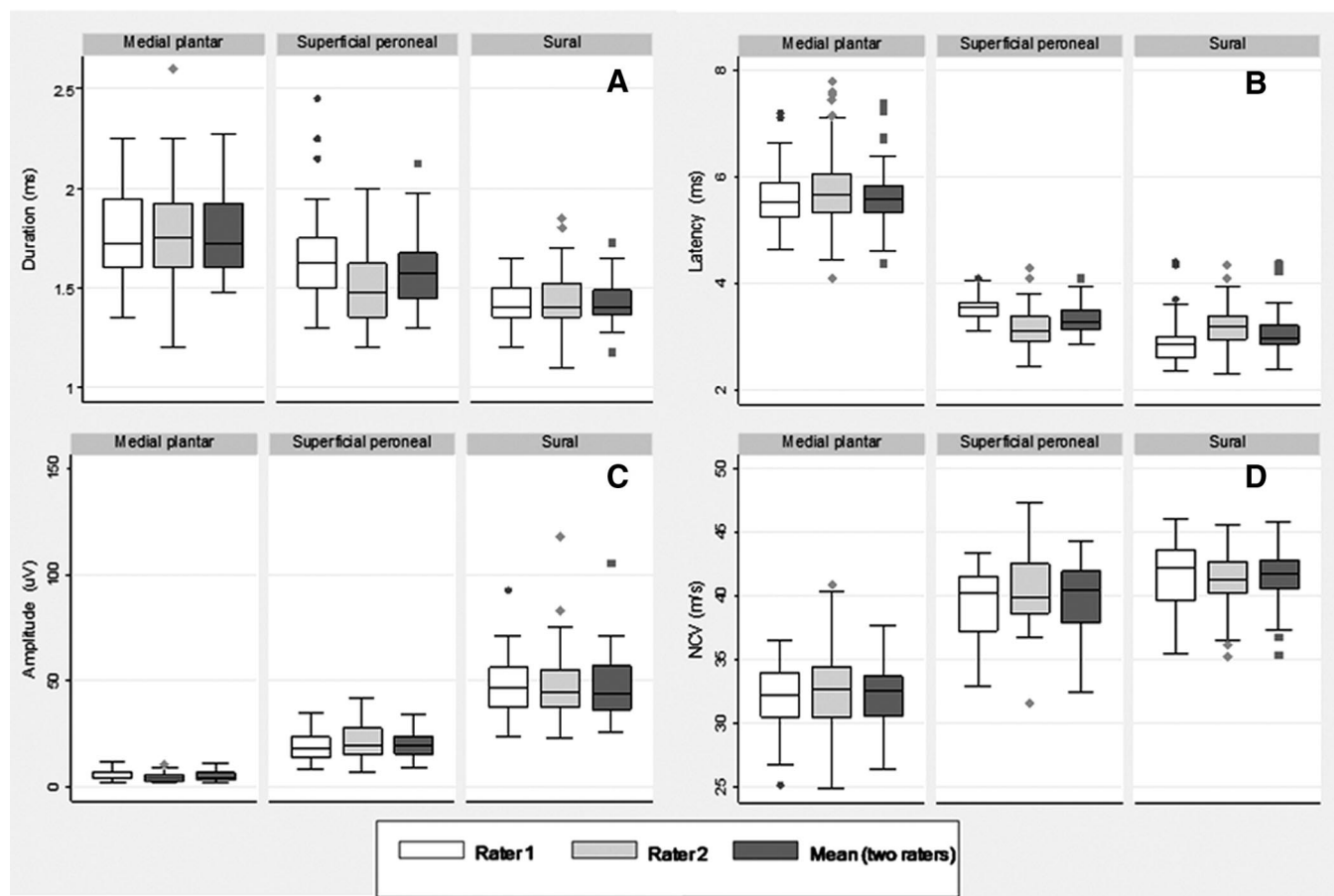
Although this test does not assess reliability, CV was applied to compare our results with prior publications and to provide more elements for the discussion of statistical methods used to assess NCS.

All statistical analyses were performed using Stata Statistical Software 9.0 (StatCorp, 2005). For all tests,  $\alpha \leq 0.05$  was considered significant.

## RESULTS

In general, the parameters registered by rater 1 showed a normal distribution based on the Shapiro-Wilk test ( $P > 0.05$ ), except the latency of sural ( $P < 0.0001$ ) and medial plantar ( $P < 0.02$ ) nerves. The data obtained by rater 2 with nonnormal distributions were latency ( $P = 0.002$ ) and amplitude ( $P < 0.01$ ) of the medial plantar nerve and amplitude of sural nerve ( $P < 0.03$ ). The medial plantar nerve presented the highest means of latency than the other nerves and the lowest means of velocity and amplitude (Fig. 1).

Most of the parameters did not show statistically significant differences between left and right limb recordings ( $P > 0.05$ ) and those, which presented a difference, are not clinically relevant. Thus, for reliability analysis, we considered 40 recordings of each nerve obtained from both extremities of the 20 participants. Results of intra- and interrater analysis by the Bland-Altman method, as well as ICC and CV data for each parameter are shown in Tables 1 to 4.



**FIGURE 1.** Distribution of parameters for each nerve (superficial peroneal, sural, and medial plantar), for each rater, and for the mean of the two raters. (A) Duration, (B) latency; (C) amplitude; and (D) NCV.

**TABLE 1.** Intrarater Reliability Outcomes for Each Parameter by the Bland-Altman Method: Data Obtained by Rater 1

Parameter	Nerve	Measurement 1	Measurement 2	B & A*
Latency (ms)	Superficial peroneal	3.5 ± 0.3 (3.0, 4.1)	3.5 ± 0.4 (2.9, 4.7)	0.002 (−0.9, 0.9)
	Sural	3.1 ± 0.7 (2.3, 5.9)	2.7 ± 0.3 (2.3, 3.8)	0.38 (−0.97, 1.73)
	Medial plantar	5.9 ± 0.7 (4.8, 7.7)	5.4 ± 0.5 (4.5, 7.2)	0.54 (−0.45, 1.51)
Amplitude (μV)	Superficial peroneal	18.9 ± 7.4 (6.5, 32.1)	18.9 ± 7.4 (7.9, 40.3)	0.038 (−13.9, 14.0)
	Sural	46.1 ± 15.7 (7.8, 98.7)	47.3 ± 14.7 (20.3, 86.3)	−1.19 (−24.92, 22.55)
	Medial plantar	5.3 ± 2.7 (1.1, 11.3)	5.6 ± 2.6 (1.8, 13.1)	−0.32 (−3.5, 2.8)
Duration (ms)	Superficial peroneal	1.7 ± 0.3 (1.3, 2.7)	1.6 ± 0.2 (1.2, 2.2)	0.12 (−0.4, 0.7)
	Sural	1.5 ± 0.1 (1.2, 1.8)	1.4 ± 0.1 (1.2, 1.7)	0.097 (−0.22, 0.42)
	Medial plantar	1.8 ± 0.3 (1.4, 2.4)	1.7 ± 0.3 (1.2, 2.7)	0.14 (−0.50, 0.79)
NCV (m/s)	Superficial peroneal	38.8 ± 3.2 (32.3, 44.7)	40.0 ± 2.7 (33.6, 45.9)	−1.20 (−6.6, 4.14)
	Sural	41.0 ± 2.9 (34.4, 47.3)	42.5 ± 2.9 (36.7, 47.9)	−1.47 (−6.4, 3.46)
	Medial plantar	30.5 ± 3.1 (22.8, 36.1)	33.1 ± 2.7 (35.7, 40.6)	−2.60 (−7.4, 2.14)

Data of measurements 1 and 2 are presented as mean ± SD (minimum, maximum).

\*Level of agreement, Bland-Altman method presented as mean difference (95% limits of agreement).

**TABLE 2.** Intrarater Reliability Outcomes for Each Parameter by the Bland-Altman Method: Data Obtained by Rater 2

Parameter	Nerve	Measurement 1	Measurement 2	B & A*
Latency (ms)	Superficial peroneal	3.1 ± 0.5 (2.4, 4.1)	3.2 ± 0.5 (2.5, 4.5)	−0.11 (−1.02, 0.80)
	Sural	3.3 ± 0.5 (2.2, 4.4)	3.1 ± 0.4 (2.4, 4.7)	0.17 (−0.73, 1.07)
	Medial plantar	5.9 ± 0.9 (4.2, 8.0)	5.7 ± 0.9 (4.0, 7.6)	0.23 (−0.63, 1.08)
Amplitude (μV)	Superficial peroneal	20.6 ± 8.9 (8.0, 57)	21.7 ± 9.4 (5.5, 42.8)	−1.07 (−18.3, 16.1)
	Sural	46.3 ± 17.8 (21.3, 114.0)	49.2 ± 29.9 (20, 122)	−2.9 (−20.73, 14.95)
	Medial plantar	4.5 ± 2.4 (1.3, 10.4)	4.4 ± 1.9 (2.1, 10.8)	0.10 (−3.1, 3.3)
Duration (ms)	Superficial peroneal	1.5 ± 0.2 (1.1, 2.0)	1.5 ± 0.2 (1.2, 2.0)	0.01 (−0.44, 0.46)
	Sural	1.5 ± 0.2 (1.1, 1.9)	1.4 ± 0.18 (1.1, 2.0)	0.04 (−0.3, 0.37)
	Medial plantar	1.8 ± 0.4 (0.9, 3.0)	1.7 ± 0.3 (1.2, 2.9)	0.10 (−0.94, 1.14)
NCV (m/s)	Superficial peroneal	40.7 ± 3.5 (35.2, 50)	40.2 ± 3.5 (27.8, 46.6)	0.51 (−5.9, 7.0)
	Sural	41.3 ± 2.5 (35, 46)	41.4 ± 2.9 (35.5, 46.7)	−0.07 (−4.48, 4.33)
	Medial plantar	31.7 ± 3.7 (24.1, 40.5)	33.1 ± 4.7 (24.2, 44.5)	−1.45 (−7.17, 4.27)

Data of measurements 1 and 2 are presented as mean ± SD (minimum, maximum).

\*Level of agreement, Bland-Altman method presented as mean difference (95% limits of agreement).

## Bland-Altman Method

The intrarater analysis showed mean differences close to zero, and there was no evidence of systematic error between the measurements taken by each rater in most of the nerve conduction parameters. Moreover, superficial peroneal measurements showed the best intrarater agreement. Rater 2 recorded mean differences closer to zero and narrower limits of agreement than rater 1 (Tables 1 and 2).

Interrater analysis (Table 3) showed mean differences close to zero, without a positive or negative trend; zero was included in the 95% limits of agreement, without apparent systematic biases. These results support good agreement level between raters. Medial plantar nerve analysis showed mean differences closer to zero in all parameters than the other nerves.

## Intraclass Correlation Coefficient

ICCs ≥ 0.75 were shown in the intrarater analysis for amplitude (rater 1) and latency (rater 2) of medial plantar nerve and amplitude (rater 2) of sural nerve (Table 4). Rater 2 showed higher ICCs than rater 1 in the majority of parameters. ICC interrater analysis showed concordances between moderate and very low in all nerves. The highest ICCs were recorded for amplitude and NCV of

the medial plantar and sural nerves, respectively. In general, amplitude was the parameter with the best concordance in both intra- and interrater analyses (Table 4).

## Coefficient of Variation

In most cases, intrarater analysis showed greater CV for rater 2 than for rater 1. Both intra- and interrater analyses showed the highest CVs (≥24.9%) for amplitude in all nerves. In contrast, the lowest CVs (<10%) were recorded for NCV. The nerve that showed the lowest variation in both analyses was the superficial peroneal nerve (Table 4).

## DISCUSSION

Because of the generalized use of NCS in clinical trials, there has been a recent surge in research on the variability and reliability of these tests (Bril et al., 1998; Chaudhry et al., 1991, 1994; Dyck et al., 1991; Halar and Venkatesh, 1976; Kohara et al., 2000; Kong et al., 2006; Lew et al., 2005; Løseth et al., 2007; Salerno et al., 1999; Schuhfried et al., 2005). However, the reliability results are mixed

**TABLE 3.** Mean of Measurement 1 and 2 Obtained by Each Rater, and Interrater Reliability Analysis by the Bland-Altman Method

Parameter	Nerve	Rater 1	Rater 2	B & A*
Latency (ms)	Superficial peroneal	3.5 ± 0.2 (3.1, 4.1)	3.1 ± 0.4 (2.5, 4.3)	0.39 (-0.42, 1.20)
	Sural	2.9 ± 0.5 (2.4, 4.4)	3.2 ± 0.4 (2.3, 4.4)	-0.28 (-1.09, 0.53)
	Medial plantar	5.6 ± 2.5 (4.7, 7.2)	5.8 ± 0.8 (4.1, 7.8)	-0.19 (-1.43, 1.05)
Amplitude (μV)	Superficial peroneal	18.9 ± 6.5 (8.4, 34.8)	21.2 ± 8.0 (7.4, 42.0)	-2.30 (-14.7, 10.1)
	Sural	46.7 ± 14.0 (23.4, 92.5)	47.8 ± 18.8 (23.1, 118)	-1.06 (-24.7, 22.6)
	Medial plantar	5.5 ± 2.5 (2.0, 11.9)	4.5 ± 2.1 (2.1, 10.6)	0.99 (-1.64, 3.63)
Duration (ms)	Superficial peroneal	1.7 ± 0.2 (1.3, 2.5)	1.5 ± 0.2 (1.2, 2.0)	0.14 (-0.31, 0.58)
	Sural	1.4 ± 0.1 (1.2, 1.7)	1.4 ± 0.2 (1.1, 1.9)	-0.03 (-0.34, 0.28)
	Medial plantar	1.8 ± 0.2 (1.4, 2.3)	1.8 ± 0.3 (1.2, 2.6)	0.002 (-0.58, 0.58)
NCV (m/s)	Superficial peroneal	39.4 ± 2.7 (33.0, 43.4)	40.5 ± 3.0 (31.6, 47.4)	-1.1 (-6.3, 4.04)
	Sural	41.7 ± 2.6 (35.5, 46.1)	41.4 ± 2.5 (35.3, 45.6)	0.37 (-2.84, 3.57)
	Medial plantar	31.8 ± 2.7 (25.1, 36.5)	32.4 ± 4.0 (24.9, 40.9)	-0.62 (-7.20, 5.95)

Data from raters 1 and 2 are presented as mean ± SD (minimum, maximum).

\*Level of agreement, Bland-Altman method presented as mean difference (95% limits of agreement).

**TABLE 4.** Intrarater and Interrater Results by ICC and CV

Parameter	Nerve	ICC*			CV†		
		Rater 1	Rater 2	Interrater	Rater 1	Rater 2	Interrater
Latency, ms	Superficial peroneal	0.03	0.51	-0.06	6.7	13.2	8.0
	Sural	0.19	0.50	0.44	16.1	13.0	12.9
	Medial plantar	0.45	0.84	0.59	10.4	14.3	11.3
Amplitude, μV	Superficial peroneal	0.55	0.54	0.59	34.5	37.8	32.8
	Sural	0.69	0.88	0.74	24.9	39.4	32.7
	Medial plantar	0.81	0.73	0.75	45.5	46.2	43.9
Duration, ms	Superficial peroneal	0.46	0.54	0.38	14.7	13.7	12.3
	Sural	0.21	0.60	0.40	8.3	11.7	8.5
	Medial plantar	0.28	0.004	0.30	13.3	15.0	11.4
NCV, m/s	Superficial peroneal	0.52	0.55	0.54	6.8	7.6	4.6
	Sural	0.52	0.66	0.79	6.2	6.0	5.6
	Medial plantar	0.38	0.72	0.50	8.3	12.3	9.1

\*Intraclass correlation coefficient.

†Coefficient of variation (%).

and should be compared and interpreted carefully, according to the nerves and parameters tested and the statistical method applied.

Although the Bland-Altman method has not been widely used to analyze the reliability of NCS, its application in our study identified a good level of intra- and interrater agreement for medial plantar, superficial peroneal, and sural nerve parameters. Intrarater analysis of the superficial peroneal nerve measurements presented, in most parameters, the mean of difference closest to zero when compared with the other nerves. In contrast, the best interrater agreement was found for the medial plantar measurements. This last result agrees with data reported by Løseth et al. (2007), and it supports the fact that despite the low amplitude of the medial plantar signals, its recording is as reliable as those of the sural and superficial peroneal nerves and several of its parameters are slightly more reliable.

Conversely, intra- and interrater ICCs were moderate and very low in the parameters recorded for the three nerves. ICC analysis showed that amplitude had the highest reliability. Parameters of the medial plantar and sural nerves showed higher ICCs than the superficial peroneal nerve. Some previous studies have used ICC

analysis for NCS reliability assessment and reported mixed and controversial results. Salerno et al. (1999) found that the median nerve measurements are more reliable (ICC range, 0.76 to 0.92) than the ulnar measurements (0.22 to 0.85); furthermore, ICCs in the intrarater reliability were higher than in the interrater reliability. Schuhfried et al. (2005) reported very low ICCs (0.05 to 0.42) in the intrarater analysis of ulnar recordings in healthy participants. Kohara et al. (2000) conducted a multicenter study on intertrial variability and reliability in healthy participants and patients with diabetic neuropathy, obtaining ICCs that ranged from 0.54 to 0.94.

With regard to variability, we determined CVs similar to those reported in previous studies (Bleasel and Tuck, 1991; Bril et al., 1998) and the parameter that showed the highest variability was amplitude. To decrease the variability in the nerve conduction parameters caused by temperature, the laboratory was kept at  $23.3 \pm 1.5^\circ\text{C}$ ; consequently, the mean difference between the two measurements of skin temperature was lesser than  $1.4 \pm 0.23^\circ\text{C}$  (Table 5). Considering that our study included a homogeneous sample in both age and gender, we assume that technical rather than physiologic

**TABLE 5.** Differences of Skin Temperature, Stimulus Intensity and Interelectrode Distance, Recorded Between 2 Tests of Each Rater and Both Raters' Tests

Parameter	Nerve	Differences of Rater 1 Tests	Differences of Rater 2 Tests	Interrater Differences
Skin temperature (°C)	Superficial Peroneal	-0.63 ± 1.5	-0.2 ± 1.3	-0.3 ± 1.2
	Sural	-0.84 ± 1.2	-0.7 ± 1.3	-0.21 ± 1.3
	Medial plantar	-1.4 ± 0.23	-0.7 ± 1.5	0.8 ± 1.6
Stimulus intensity (V)	Peroneal	-3.5 ± 32.4	-1.4 ± 27.2	-8.3 ± 22.2
	Sural	-1.0 ± 6.9	-11.7 ± 37.2	-3.4 ± 31.9
	Medial plantar	12.2 ± 50.6	-7.9 ± 51.7	-49.2 ± 37.7
Interelectrode Distance (mm)	Peroneal	-4.15 ± 18.2	-2.4 ± 21.5	11.9 ± 17.2
	Sural	11.1 ± 4.4	6.5 ± 3.0	-10.6 ± 16.6
	Medial plantar	1.5 ± 10.7	-0.45 ± 9.9	-8.4 ± 8.4

Differences presented as mean ± SD. The parameter differences of each rater were calculated from data recorded in the 2 tests conducted by each of them. Interrater differences correspond to mean differences of parameters recorded by 2 raters.

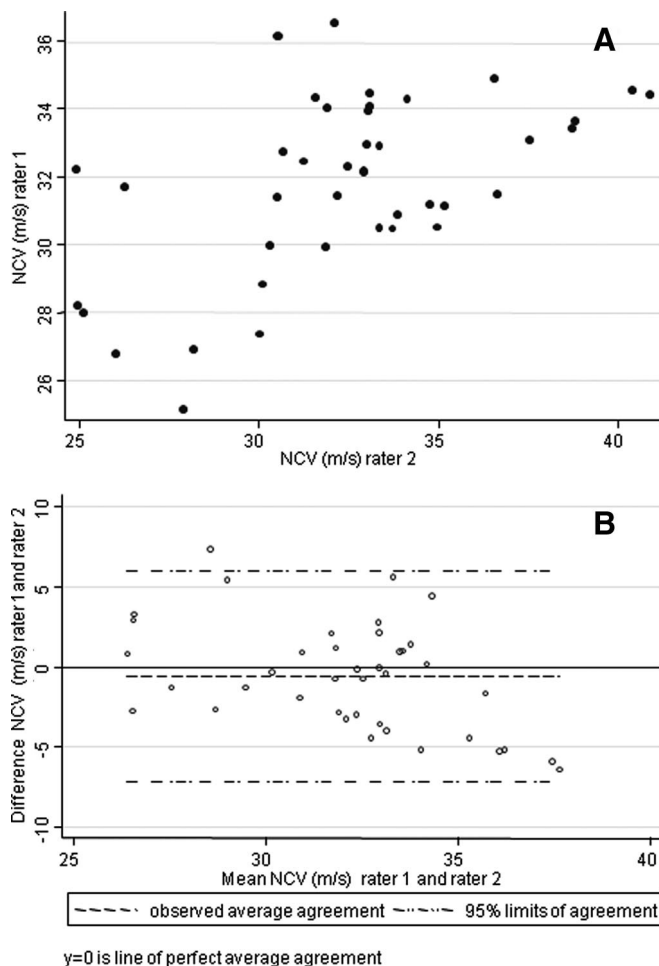
factors made a significant contribution to the variability of the parameters.

In this study, anatomic landmark method was applied to all recordings. This method is usually selected because leg lengths are not identical in all persons (Schuchmann, 1977). Nevertheless, because of the differences in the interelectrode distances, anatomic landmark method does not allow direct comparison of the latencies making necessary the calculation of the NCV (Wilbourn, 1994). The interelectrode distance differences determined in our study (Table 5) probably explain the best concordance and the minor variability determined for the NCV with respect to latency. These differences might be derived from limb position, anatomic nerve position variation, skin-subcutaneous movement, and skin movement during the tests (Schuhfried et al., 2005; Trojaborg, 1964).

In this study, the inclusion of various statistical methods to analyze issues related to the reliability of NCS allows us to discuss differences in the reliability of results that sometimes seem contradictory, as well as the advantages and disadvantages of each statistical approach that has been used during recent years (Lexell and Downham, 2005).

An example of apparent contradictory results can be pointed out from our interrater analysis of medial plantar duration. Interrater reliability analysis by the Bland-Altman method showed that the mean difference was very close to zero (0.002 milliseconds) and the 95% limits of agreement were -0.58 to 0.58 milliseconds (Table 3), meaning very good interrater agreement that can be interpreted as excellent interrater reliability. In contrast, interrater ICC for the same measurements was 0.30, meaning poor concordance that can be interpreted as poor interrater reliability (Table 4). In the same sense, the CV was 11.4%, interpreted as high variation in the parameter. Similar situation was observed in the interrater analysis of the medial plantar NCV; scatter plot of the measurements and Bland-Altman analysis are presented in Figs. 2A and 2B, respectively.

These examples show that ICC and the Bland-Altman method are different but complementary forms of analyzing reliability. Each of these statistical methods has advantages and disadvantages that must be considered in their application and interpretation. ICC quantifies concordance between measurements, is easy to interpret, and can be used with small samples and with data from >2 measurements. However, it is becoming clear that the use of only ICC to analyze reliability could yield misleading results because, if the sample is homogeneous as in our case, the ICC value could be low. Moreover, a clinical interpretation from ICC is difficult not



**FIGURE 2.** Interrater reliability analysis of medial plantar nerve conduction velocity. (A) Scatter plot of measurements determined by raters 1 and 2. Each point shows the NCV determined by each rater (ICC = 0.50). (B) Bland-Altman plot. Horizontal axis shows mean measurement value of raters 1 and 2. Vertical axis shows interrater measurement difference. Mean difference: -0.62 m/s, 95% limits of agreement: -7.20 to 5.95 m/s.

only because the results are not given in the original measurement scale but also because it gives no indication of the magnitude of disagreement between measurements (Keating and Matyas, 1998; Lexell and Downham, 2005; Rankin and Stokes, 1998). Conversely, the Bland-Altman method provides easily interpreted visual data, a range of differences between measurements in the same scale and any bias or outliers and relationships between the measurement variance and the size of the mean. Nevertheless, this test can only be applied when comparing two evaluations of the same rater, two raters, or two measurement procedures (Bland and Altman, 1986; Lexell and Downham, 2005).

Finally, it is important to consider that although CV has been systematically used since the 1970s, it is applied to compare the variation of measurements that have significantly different mean and SD values; therefore, it cannot be considered as an index of reliability. Moreover, it has been demonstrated that small measurement values tend to produce higher CV than larger measurement values (Armitage and Berry, 1987; Kirshner and Guyatt, 1985; McLaughlin et al., 1998). The inclusion of CV in this study served our purpose of comparing the variability of the analyzed nerves with previous studies.

The results of the reliability presented in this study correspond to young and healthy people and should not be extrapolated to other populations. Considering that nerve conduction parameters are dependent of age, the results would be different in the elderly people. Moreover, because distal neuropathies are more common in the elderly, future studies in subjects with a wide spectrum of age and nervous alteration are necessary.

## CONCLUSIONS

Although the Bland-Altman method confirmed good intra- and interrater reliability of superficial peroneal, sural, and medial plantar nerve parameters, ICC analyses showed mixed results. These statistical approaches are complementary, and the results do not necessarily match. There are advantages and disadvantages that must be considered in their application and interpretation. Therefore, we conclude that a consensus must be reached regarding the most relevant reliability statistical method to be applied in serial measurement analyses and particularly in the intra- and interrater reliability of NCS.

## ACKNOWLEDGMENTS

The first author acknowledges Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, Brazil) for providing her doctoral grant. The authors thank Drs. Spielholz NI, University of Miami, and Russo TL, Universidade Federal de São Carlos, for the critical review of the manuscript.

## REFERENCES

Aminoff MJ. *Electromyography in Clinical Practice: Clinical and Electrodiagnostic Aspects of Neuromuscular Disease*. In: Ross A, ed. New York: Churchill Livingstone, 1998:630.

Armitage P, Berry G. *Statistical Methods in Medical Research*. New York: Blackwell scientific publications, 1987:559.

Bartko J. On various intraclass correlation reliability coefficients. *Psychol Bull*. 1976;83:762–765.

Begg CB, McNeil BJ. Assessment of radiology test: control of bias and other design considerations. *Radiology*. 1988;167:565–569.

Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;8:307–310.

Bland JM, Altman DG. Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual. *J Biopharm Stat*. 2007;17:571–582.

Bleasel AF, Tuck RR. Variability of repeated nerve conduction studies. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1991;81:417–420.

Bolton CF, Carter KM. Human sensory nerve compound action potential amplitude: variation with sex and finger circumference. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1980;43:925–928.

Bril V, Ellison R, Ngo M, et al. Electrophysiological monitoring in clinical trials. *Muscle Nerve*. 1998;21:1368–1373.

Chaudhry V, Cornblath DR, Mellits ED, et al. Inter- and intra examiner reliability of nerve conduction measurements in normal subjects. *Ann Neurol*. 1991;30:841–843.

Chaudhry V, Corse AM, Freimer ML, et al. Inter- and intraexaminer reliability of nerve conduction measurements in patients with diabetic neuropathy. *Neurology*. 1994;44:1459–1462.

Chodoroff G, Tashjian EA, Ellenberg MR. Orthodromic vs antidromic sensory nerve latencies in healthy persons. *Arch Phys Med Rehabil*. 1985;66:589–591.

D'Amour LM, Brissette S, Lavoie J, Butterworth RF. Reduced sensory and motor nerve conduction velocities in moderate drinkers. *Addict Biol*. 2000;5:71–75.

Domholdt E. In: Walman M, ed. *Rehabilitation Research: Principles and Applications*. 3rd ed. New York: Elsevier Saunders, 2005:576.

Dorfman LJ, Bosley TM. Age-related changes in peripheral and central nerve conduction in man. *Neurology*. 1979;29:38–44.

Dyck PJ, Kratz KM, Lehman KA, et al. The Rochester diabetic neuropathy study: design, criteria for types of neuropathy, selection bias, and reproducibility of neuropathic tests. *Neurology*. 1991;41:799–807.

Halar EM, Venkatesh B. Nerve conduction velocity measurements: two point improved accuracy using superimposed response waves. *Arch Phys Med Rehabil*. 1976;57:451–457.

Hinderer SR, Hinderer KA. Principles and applications of measurement methods. In: DeLisa JA, Gans BM, Walsh NE, et al. eds. *Physical Medicine and Rehabilitation: Principles and Practice*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005:1139–1157.

Hiza HA, Pratt C, Mardis AL, Anand R. *Body Mass Index and Health. Insight 16*. Washington, DC: USDA, Center for Nutrition Policy and Promotion, 2000.

Honet JC, Jebsen RH, Perrin EB. Variability of nerve conduction velocity determinations in normal persons. *Arch Phys Med Rehabil*. 1968;49:650–654.

Karsidag S, Morali S, Salman S, Karsidag K. The electrophysiological findings of subclinical neuropathy in patients with recently diagnosed type 1 diabetes mellitus. *Diabetes Res Clin Pract*. 2005;67:211–219.

Keating J, Matyas T. Unreliable inferences from reliable measurements. *Aust J Physiother*. 1998;44:5–10.

Kimura J. Principles and variations of nerve conduction studies. Principles and practice. In: Kimura J, ed. *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle*. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2001:91–117.

Kirshner B, Guyatt G. A methodological framework for assessing health indices. *J Chron Dis*. 1985;38:27–36.

Kohara N, Kimura J, Kaji R, et al. F-wave latency serves as the most reproducible measure in nerve conduction studies of diabetic polyneuropathy: multicentre analysis in healthy subjects and patients with diabetic polyneuropathy. *Diabetologia*. 2000;43:915–921.

Kong X, Gozani SN, Hayes MT, Weinberg DH. NC-stat sensory nerve conduction studies in the median and ulnar nerves of symptomatic patients. *Clin Neurophysiol*. 2006;117:405–413.

Lew HL, Date ES, Pan SS, et al. Sensitivity, specificity, and variability of nerve conduction velocity measurements in carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86:12–16.

Lexell JE, Downham DY. How to assess the reliability of measurements in rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil*. 2005;84:719–723.

Løseth S, Nebuchennykh M, Stålberg E, Mellgren SI. Medial plantar nerve conduction studies in healthy controls and diabetics. *Clin Neurophysiol*. 2007;118:1155–1161.

Maynard FM, Stolov WC. Experimental error in determination of nerve conduction velocity. *Arch Phys Med Rehabil*. 1972;53:362–372.

McDowell, I. *Measuring Health. A Guide to Rating Scales and Questionnaires*. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2006:768.

McLaughlin SC, Aitchison TC, Macfarlane PW. The value of the coefficient of variation in assessing repeat variation in ECG measurements. *Eur Heart J*. 1998;19:342–351.

Oh SJ. In: Sydor AM, ed. *Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2003:816.

Pagano M, Gauvreau K. *Principles of Biostatistics*. Belmont, California: Duxbury Press, 1993:524.

Rankin G, Stokes M. Reliability of assessment tools in rehabilitation: an illustration of appropriate statistical analyses. *Clin Rehabil*. 1998;12:187–199.

Ransohoff DF, Feinstein AR. Problems of spectrum and bias in evaluating the efficacy of diagnostic test. *N Engl J Med*. 1978;299:926–930.

Salerno DF, Werner RA, Albers JW, et al. Reliability of nerve conduction studies among active workers. *Muscle Nerve*. 1999;22:1372–1379.

Schuchmann JA. Sural nerve conduction: a standardized technique. *Arch Phys Med Rehabil*. 1977;58:166–168.

Schuhfried O, Angst M, Herceg M, Paternostro-Sluga T. Interexaminer repeatability of antidromic ulnar sensory nerve conduction velocity measurements. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86:2047–2050.



- Siegel S. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. New York: McGraw Hill Book Company, 1989:399.
- StatCorp. *Stata Statistical Software: Release 9.0*. College Station, TX: Stata Corporation LP, 2005.
- Streiner DL, Norman GR. *Health Measurement Scales: A Practical Guide to Their Development and Use*. New York: Oxford University Press, 2003:296.
- Trojaborg W. Motor nerve conduction velocities in normal subjects with particular reference to the conduction in proximal and distal segments of median and ulnar nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1964;17:314–321.
- Valk G, Sonnavilles J, Houtmun W, et al. The assessment of diabetic polyneuropathy in daily clinical practice: reliability and validity of Semmes Weinstein monofilaments examination and clinical neurological examination. *Muscle Nerve*. 1997;20:116–118.
- Wilbourn AJ. Sensory nerve conduction studies. *J Clin Neurophysiol*. 1994;11:584–601.

## Motor and Sensory Nerve Conduction Are Affected Differently by Ice Pack, Ice Massage, and Cold Water Immersion

Esperanza Herrera, Maria C. Sandoval, Diana M. Camargo, Tania F. Salvini

**Background.** It is well known that reducing tissue temperature changes sensory and motor nerve conduction. However, few studies have compared the effect of different cold modalities on nerve conduction parameters.

**Objective.** The purpose of this study was to compare the effects of ice pack, ice massage, and cold water immersion on the conduction parameters of the sural (sensorial) and tibial motor nerves.

**Design.** An experimental study was conducted in which the participants were randomly assigned to 1 of 3 intervention groups (n=12 per group). Independent variables were cold modality and pre- and post-cooling measurement time. Dependent variables were skin temperature and nerve conduction parameters.

**Methods.** Thirty-six people who were healthy, with a mean (SD) age of 20.5 (1.9) years, participated in the study. Each group received 1 of the 3 cold modalities, applied to the right calf region for 15 minutes. Skin temperature and nerve conduction parameters were measured before and immediately after cooling.

**Results.** All 3 modalities reduced skin temperature (mean=18.2°C). There also was a reduction in amplitude and an increase in latency and duration of the compound action potential. Ice massage, ice pack, and cold water immersion reduced sensory nerve conduction velocity (NCV) by 20.4, 16.7, and 22.6 m/s and motor NCV by 2.5, 2.1, and 8.3 m/s, respectively. Cold water immersion was the most effective modality in changing nerve conduction parameters.

**Limitations.** The cooling area of the ice massage and ice pack was smaller than that of the cold water immersion. The examiner was not blinded to the treatment group. The population included only participants who were healthy and young.

**Conclusions.** All 3 modalities were effective in reducing skin temperature and changing sensory conduction at a physiological level that is sufficient to induce a hypoalgesic effect. The results suggest that cold water immersion, as applied in this study, is the most indicated modality for inducing therapeutic effects associated with the reduction of motor nerve conduction.

E. Herrera, PT, MS, is a PhD student in the Program of Physiological Sciences, Federal University of São Carlos, São Carlos, Brazil, and Titular Professor, Department of Physical Therapy, Universidad Industrial de Santander, Ciudad Universitaria, Carrera 27 Calle 9, Bucaramanga, Santander, Colombia. Address all correspondence to Ms Herrera at: [eshevi@uis.edu.co](mailto:eshevi@uis.edu.co).

M.C. Sandoval, PT, PhD, is Associate Professor, Department of Physical Therapy, Universidad Industrial de Santander.

D.M. Camargo, MS, is Associate Professor, Department of Physical Therapy, Universidad Industrial de Santander.

T.F. Salvini, PT, PhD, is Titular Professor, Department of Physical Therapy, Federal University of São Carlos.

[Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM, Salvini TF. Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water immersion. *Phys Ther.* 2010;90:581–591.]

© 2010 American Physical Therapy Association



Post a Rapid Response or  
find The Bottom Line:  
[www.ptjournal.org](http://www.ptjournal.org)

Cryotherapy is the therapeutic application of a substance to remove body heat, resulting in diminished tissue temperature.<sup>1,2</sup> It often is used in sports and rehabilitation settings during the immediate and rehabilitative phases of injury management.<sup>3</sup> Reduced tissue temperature, blood flow, and cellular metabolism are some of the physiological effects of cryotherapy.<sup>2-8</sup> Cryotherapy also reduces nerve conduction velocity (NCV) in the sensory and motor nerves<sup>9,10</sup> and has a controversial effect on muscle strength (force-generating capacity).<sup>11-13</sup> These physiological changes lead to some therapeutic effects such as a reduction in pain and muscle spasm and the prevention of posttraumatic edema.<sup>1-13</sup>

Various modalities are frequently used to deliver cryotherapy treatment. The efficacy of cooling depends on the method, application time, and treatment area and the individual's physical activity level immediately before or after the intervention.<sup>14</sup> Overall, crushed ice pack, ice massage, and cold water immersion are considered the most effective clinical modalities for reducing tissue temperature.<sup>14-17</sup> The efficacy of the cryotherapy modalities has been assessed by comparing their capacity to decrease intramuscular,<sup>18</sup> intra-articular,<sup>19</sup> and skin temperature<sup>10,14-17,20,21</sup> and to maintain the temperature changes. Skin temperature measurement has been widely used because it is a simple and non-invasive procedure. Some authors,

based on skin temperature measurements, have hypothesized that skin temperature changes are closely related to changes in subcutaneous and intramuscular temperature.<sup>10,15-17</sup> However, the study by Jutte et al,<sup>22</sup> which used a multiple regression model, showed that skin temperature was a weak predictor of intramuscular temperature because it explained only 21% of temperature variance within the muscle. The influence of subcutaneous and muscular tissue thickness on the cooling of deeper tissues also has been debated.<sup>23,24</sup>

A more precise way of analyzing the efficacy of cryotherapy modalities would be to compare their effects on deep tissues directly associated with clinical intervention using quantitative, direct, and reliable measurement. For example, nerve fibers are targeted for cryotherapy intervention to reduce muscle pain and spasm,<sup>3</sup> and the changes attributed to cooling can be identified through nerve conduction studies (NCS) in which reliability has been established previously.<sup>25</sup>

Prior electrophysiological studies have determined a direct linear relationship between skin temperature and NCV and an inverse relationship with latency, amplitude, and duration of compound action potential.<sup>26-30</sup> Nevertheless, this relationship varies according to the type of nerve fiber. Sensory nerves can show a reduction of 1.4 to 2.6 m/s for every degree of skin temperature reduction, whereas motor NCV can decrease by 1.1 to 1.5 m/s/°C.<sup>1</sup> There are other factors that affect the relationship between skin temperature and NCV, such as the depth of the nerve, the amount of surrounding subcutaneous tissue, age, range of temperature variation,<sup>27-30</sup> and possibly the type of modality used to alter skin temperature.

In the literature, there is a lack of studies comparing the effects of the different cold modalities on motor and sensory nerve conduction parameters. We found only one study<sup>31</sup> that established a greater effect of cold packs compared with gel packs on reducing ulnar motor NCV. However, this study did not analyze the effect of these modalities on sensory nerve conduction. Therefore, it is important to compare the effectiveness of the different cryotherapy modalities on motor and sensory nerve conduction to provide physiological parameters that contribute to the indication of the most adequate modality according to the desired therapeutic effect.

Considering that each cold modality has a different capacity to cool the skin and subcutaneous tissues and that nerve fiber conduction is affected by skin temperature changes, the hypothesis of this study was that cryotherapy protocols with different characteristics should have different effects on sensory and motor nerve conduction. The purpose of this study was to compare the effects of 3 commonly used therapeutic cold modalities (ice pack, ice massage, and cold water immersion) on the conduction parameters of the sural nerve and tibial motor nerve in participants who were healthy.

## Method

### Research Design

An experimental study was conducted with 3 randomly assigned intervention groups. The independent variables were cold modality type (ice pack, ice massage, and water immersion) and measurement time (pre- and post-cooling). The dependent variables were skin temperature (degrees Celsius) and nerve conduction parameters: NCV (meters per second), latency and duration (milliseconds), amplitude of compound muscle (millivolts), and sensory action potentials (microvolts).



Available With  
This Article at  
[ptjournal.apta.org](http://ptjournal.apta.org)

#### • [Audio Abstracts Podcast](#)

*This article was published ahead of print on February 25, 2010, at [ptjournal.apta.org](http://ptjournal.apta.org).*

## Participants

The participants were informed of the experimental procedures and the risks involved with the study and signed a consent form. Thirty-six participants who were healthy (18 women and 18 men) were enrolled in this study. The participants' mean (SD) age, mass, height, and body mass index were 20.5 (1.9) years, 60.2 (8.4) kg, 1.63 (0.1) m, and 22.4 (1.6) kg/m<sup>2</sup>, respectively.

The sample size for each cold modality group was determined through the application of the *sampsi* command of Stata 9.0 software.\* The following design specifications were taken into account:  $\alpha=.05$ ;  $(1-\beta)=0.9$ ; ratio=1:1; and method of calculation=analysis of covariance (ANCOVA) for repeated measurements, with a baseline measurement and a final measurement. The correlation between the initial and final measurements was  $r=.2$ . This method defined a sample of 10 to 12 participants for each cold modality group.

All participants filled out a health questionnaire that indicated the presence of any of the following exclusion criteria: history of alcoholism or smoking, peripheral vascular or cardiovascular disease, diabetes, neurological or skeletal muscle disorders, recent trauma or injury to the right leg, local hot or cold insensitivity, cold adverse reactions, Raynaud phenomenon, and pregnancy. Additionally, the participants were asked to avoid eating and drinking any stimulants (eg, alcohol, caffeine, chocolate) 2 hours before the intervention and to not exercise for at least 4 hours before intervention. These exclusion criteria and recommendations were considered according to previous studies.<sup>10,31</sup>

## Instruments

Skin temperature was measured using an infrared thermometer (Raytek ST PRO<sup>†</sup>) that displays a precision of 1°C, high reliability (intraclass correlation coefficient=.97), validity ( $r=.92$ ), and responsiveness (change index=4.2). Nerve conduction measurements were acquired using a Nicolet Compass Meridian System<sup>‡</sup> and standard surface electrodes from the same manufacturer. The selection of cold modalities was based on their high effectiveness in reducing skin temperature and their frequent application in the clinical setting.<sup>14-17</sup> The ice pack consisted of 279 g of crushed ice in a plastic bag of 18 × 8 cm without air. Ice massage was applied by using an ice block of 279 g with dimensions of 8 × 10 × 5 cm. Water immersion was conducted in an acrylic container of 20 × 35 × 30 cm, filled with water and crushed ice until the water temperature reached approximately 10°C, as reported previously.<sup>17,20</sup> The temperature of this modality was measured throughout the intervention, showing an initial mean of 8.9 (1.0)°C and a final mean of 7.8 (1.2)°C.

## Procedure

The participants were randomly assigned to 1 of 3 cold modality groups by using a computer-generated random number sequence.<sup>32</sup> Furthermore, to minimize the influence of the circadian cycle on body temperature regulation, all participants received the cold modality at the same time (eg, 2-6 PM). The intervention and measurement procedures were performed on the right calf of each participant. Given that the post-cooling measurement had to be taken immediately after the cold modality application, the same room was used for the application of inter-

vention and for the measurement procedures. Room temperature was maintained at 24 (0.08)°C, and there were no significant variations during the tests ( $P=.29$ ).

Before the experimental protocol, the participants were asked whether they had followed the recommendations regarding stimulant intake and exercise. Their height and weight were recorded to calculate the body mass index. The participants wore T-shirts and shorts and, for acclimatization, assumed the prone position on the standard examining table for 15 minutes. During the acclimatization time, the treatment area to be cooled was determined and the electrodes for NCS were placed.

**Cold modalities.** The cold modalities were applied for 15 consecutive minutes by the same trained physical therapist (M.C.S.). This duration is frequently used for treatments because it is sufficient to achieve therapeutic effects and it avoids complications from cold modalities.<sup>21,33</sup> The ice massage and the ice pack were applied to a previously determined rectangular area (18 × 8 cm) on the calf (Fig. 1). The ice pack was applied directly to the skin and without compression. The ice massage was applied by continuous longitudinal displacements. For the cold water immersion, the participants remained seated while immersing the right leg as far as the top border of the rectangle determined for the previous modalities (Fig. 1). At the end of intervention, the leg was quickly dried without friction, and the participant returned to the prone position for the post-cooling measurement. All participants completed the experimental protocols without adverse reactions to the cold.

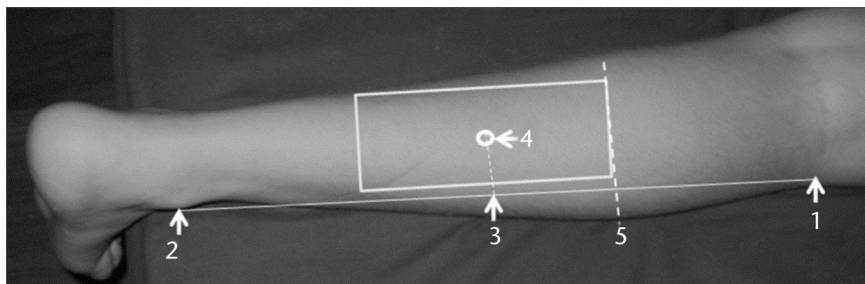
## Skin temperature measurement.

Skin temperature was measured immediately before (pre-cooling) and after (post-cooling) the cold modal-

<sup>†</sup> Raytek Corp, 1201 Shaffer Rd, Santa Cruz, CA 95061.

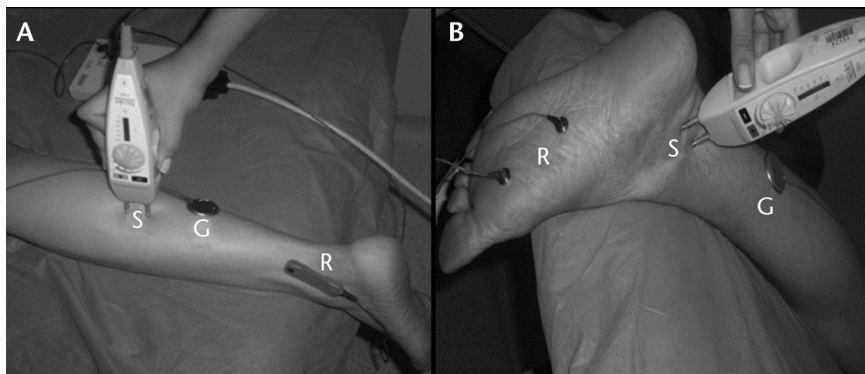
<sup>‡</sup> Nicolet Biomedical Co, 5225 Verona Rd #2, Fitchburg, WI 53711-4497.

\* StataCorp LP, 4905 Lakeway Dr, College Station, TX 77845.



**Figure 1.**

Cooling area. Ice pack and ice massage were applied to the same rectangular area defined according to the following procedure: (a) measurement of the length of the leg between the head of the fibula (1) and the lateral malleolus (2); (b) definition of the midpoint between the head of the fibula and the lateral malleolus (3); (c) projection of a perpendicular line to the posterior part of the leg, marking the midpoint of the calf (4); and (d) placement of the center of an acetate mold in the midpoint of the calf to mark a rectangle (18 × 8 cm) where the ice pack and ice massage would be applied. For the cold water immersion, the participants immersed their right leg in a cold water tank as far as the top border of the rectangle (5).



**Figure 2.**

Stimulation and recording electrode sites for the sural nerve and tibial motor nerve conduction studies. (A) Sural nerve: antidromic technique was performed. (B) Tibial motor nerve: distal stimulation on the medial malleolus and proximal stimulation on the medial aspect of the knee crease (not shown). S=stimulation site, R=recording site, and G=ground electrode.

ity application. The temperature was measured at the center of the previously defined rectangle (Fig. 1) with an infrared thermometer placed in a perpendicular position and kept as close as possible to the skin without touching.

#### Nerve conduction measurement.

Compound action potentials resulting from stimulation of the posterior tibial motor and sural nerves were recorded twice, before and after cooling, according to standardized techniques described by Oh.<sup>34</sup> These

nerve fibers were selected because they are located within the treatment area. Furthermore, the posterior tibial nerve has a high quantity of motor fibers, and the sural nerve is a pure sensory nerve,<sup>26,34</sup> allowing the assessment of the cooling effects in both motor and sensory fibers.

Nerve conduction studies were obtained by the same examiner (E.H.). In order to reduce technical variations, the stimulation and recording sites were delimited with a permanent ink marker during the

pre-cooling measurement, and the recording electrodes were not removed during the intervention, except in the participants who received cold water immersion. In this case, the recording electrodes were removed after the pre-cooling measurement and replaced at the sites previously marked for the post-cooling measurement.

Before the NCS measurement, the participants were instructed to avoid leg movements. The sural nerve recordings were obtained with a bandwidth of 20 Hz to 3 kHz, a gain of 20  $\mu$ V per division, and a sweep speed of 1 millisecond per division. The surface bar recording electrode was placed immediately behind the lateral malleolus and the stimulating electrode, was placed about 14 cm proximal to the active recording electrode, just lateral to the midline of the width of the calf muscle<sup>34</sup> (Fig. 2A). Stimuli were 100-microsecond rectangular pulses, with amplitude adjusted slightly higher than needed to ensure a maximum response. The nerve signals were obtained by averaging 20 responses. The following sensory nerve parameters were measured: NCV, peak latency, peak-to-peak amplitude, and duration (onset to end of negative wave) of the compound sensory action potential.

The tibial motor nerve recordings were obtained with a bandwidth of 2 Hz to 10 kHz, a gain of 2 mV per division, and a sweep speed of 2 milliseconds per division. The active disc recording electrode was placed over the abductor hallucis muscle, and the reference disc recording electrode was placed at the base of the big toe. The ground electrode was positioned on the calf muscle. The distal stimulation site was on the ankle immediately behind the medial malleolus, and the proximal stimulation site was on the knee on the medial aspect of the knee crease<sup>34</sup>

(Fig. 2B). The following motor nerve parameters were measured: NCV for the nerve segment between ankle and knee, distal latency, amplitude, and duration of the negative wave of the compound muscle action potential.

**Intrarater reliability of sural and tibial motor NCS.** Before data collection, we assessed intrarater reliability of the tibial motor and sural nerve recordings in 20 participants following the same recording techniques described above. The same examiner who performed the assessments of the current study tested each participant twice on 2 separate days with a minimum 8-day lapse between the measurements.<sup>25</sup>

### Statistical Procedures

Intrarater reliability of nerve conduction parameters was evaluated using the Bland-Altman method.<sup>35</sup> Data were reported as mean difference (95% limits of agreement). For the present study, descriptive statistics were used to summarize the characteristics of the population, the skin temperature, and nerve conduction data, which are presented as mean (SD). The baseline characteristics of the cold modality group participants were compared using analysis of variance (ANOVA) and a chi-square test, depending on the scale of measurement of each variable.<sup>32</sup> The measurements obtained before and after cooling were compared using a paired *t* test because the normal distribution of all variables was proven by the Shapiro-Wilk test.<sup>32,36</sup> In addition, an ANCOVA<sup>37</sup> compared the effects of the 3 modalities of skin temperature and the nerve conduction parameters using the ice massage group as reference. For the statistical analysis, the Stata 9.0 software was used, with a significance level of  $\alpha = .05$ .

## Results

### Intrarater Reliability of NCS

The intrarater analysis showed mean differences close to zero, and there was no evidence of systematic error. The mean differences (95% limits of agreement) for the sural nerve parameters were: latency=0.17 millisecond (-0.73, 1.07), NCV=-0.07 m/s (-4.48, 4.33), amplitude=-2.9  $\mu$ V (-20.73, 14.95), and duration=0.04 millisecond (-0.3, 0.37).<sup>25</sup> Respective data for the tibial motor nerve parameters were: latency=0.23 millisecond (-1.10, 1.56), NCV=-0.32 m/s (-6.20, 5.53), amplitude=-0.1 mV (-4.30, 4.10), and duration=0.36 millisecond (-0.91, 1.63) (unpublished data).

### Effects of Cold Modalities on Skin Temperature and Nerve Conduction Parameters

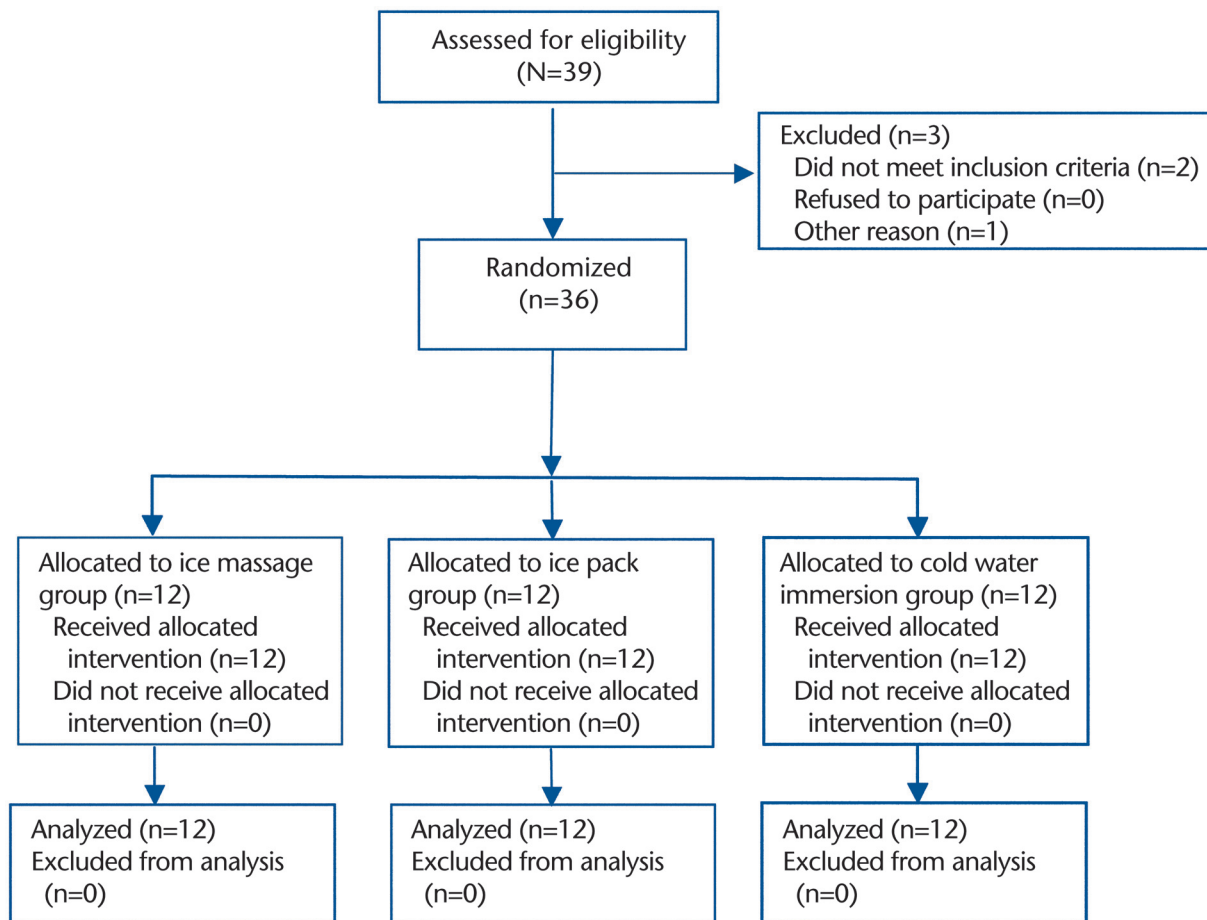
A total of 39 potential participants were assessed for eligibility; 2 did not meet inclusion criteria, and 1 was not assisted to the experimental session. Twelve participants were randomly allocated to each experimental group (Fig. 3). There were no significant differences in baseline characteristics among the cold modality group participants ( $P > .05$ ) (Tab. 1). There was a decrease in skin temperature after the application of the 3 modalities ( $P < .0001$ ) (Tab. 2). The ice massage caused a greater decrease in skin temperature compared with the ice pack ( $\beta = 3.03$ ,  $P = .001$ ) and the cold water immersion ( $\beta = 9.36$ ,  $P < .0001$ ). All 3 modalities induced an increase in latency and duration of the compound action potential of the sural and tibial motor nerves ( $P < .05$ ). There also was a reduction in the amplitude of the potentials and the NCV ( $P < .05$ ) (Tabs. 3 and 4). The effect of the cold water immersion on all motor nerve parameters, as well as on amplitude and duration of sural nerve potential, was different and greater compared with the effect of ice massage (Tab. 5). There

were no differences between the effects of the ice pack and ice massage on the motor and sensory conduction parameters ( $P > .05$ ) (Tab. 5).

## Discussion

The 3 cold modalities resulted in significant changes in every sural nerve parameter, except cold water immersion in amplitude (Tab. 4). Mean differences among parameters determined before and after cooling were greater than those determined in the intrarater reliability analysis. The effects of ice massage and ice pack on the tibial motor nerve parameters were more subtle (Tab. 3). Although latency and duration differences were statistically significant for the effect of ice pack intervention on the tibial motor nerve, mean differences were lower or similar to those determined in the intrarater reliability analysis for this nerve. However, it is important to note that assessments after ice pack and ice massage protocols did not require the removal of electrodes, which usually is the main source of error in NCS. Mean differences in tibial motor nerve parameters from cold water immersion were greater than those determined in the intrarater reliability analysis. Therefore, we believe that the motor and sensory nerve conduction changes determined for each modality were a real consequence of cooling rather than error in measurement methods.

The results of this study support the proposed hypothesis because the cold modalities applied have different effects on motor and sensory nerve conduction. The modality of cold water immersion, as applied in this study, had the greatest effect on the conduction parameters, especially of the tibial motor nerve (Tab. 5). The modalities of ice pack and ice massage, as applied in this study, differed substantially from the cold water immersion. First, the ice massage and ice pack were applied



**Figure 3.** Flow of participants through the study.

to the same calf area (44 cm<sup>2</sup>), whereas the area/volume covered by cold water immersion was much greater, including the calf, ankle, and foot regions where the nerve becomes more superficial and thus

more susceptible to cooling. Second, these modalities also have thermodynamic differences: in the ice massage and ice pack modalities, heat exchange occurs by conduction, whereas cold water immersion in-

volves conduction and convection processes.<sup>1</sup> Our results can be explained mainly by the differences in the area/volume, and this parameter of the cold modalities may contribute to a greater cooling effect on the

**Table 1.** Demographic Characteristics of the Participants<sup>a</sup>

Variable	Intervention Group			P
	Ice Massage (n=12)	Ice Pack (n=12)	Cold Water Immersion (n=12)	
Age (y)	19.7 (1.3)	20.7 (1.3)	20.9 (2.6)	.26
Female participants, n (%)	5 (41.7)	6 (50)	7 (58.3)	.72
Height (m)	1.61 (0.1)	1.64 (0.1)	1.65 (0.1)	.54
Mass (kg)	58 (7.1)	60.4 (8.6)	62.1 (9.7)	.51
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	22.2 (1.6)	22.3 (1.4)	22.6 (1.7)	.81

<sup>a</sup> Data are presented as mean (SD), except for the number and percentage of female participants.

**Table 2.**Skin Temperature in Participants Submitted to Different Cold Modalities<sup>a</sup>

Intervention Group	Skin Temperature (°C)		
	Pre-Cooling	Post-Cooling	Difference <sup>b</sup>
Ice massage	31.58 (1.07)	3.98 (1.15)	-27.6 (1.32) <sup>c</sup>
Ice pack	31.12 (2.13)	6.68 (3.4)	-24.43 (2.87) <sup>c</sup>
Cold water immersion	31.55 (0.89)	13.32 (1.33)	-18.23 (1.46) <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Data are presented as mean (SD).<sup>b</sup> Difference=post-cooling – pre-cooling.<sup>c</sup>  $P < .0001$ .

subcutaneous tissues, including the peripheral nerve. Future studies are needed to compare the effects of the cold modalities on nerve conduction with different thermodynamic properties applied to an area of similar magnitude.

Paradoxically, cold water immersion was the modality that caused the least skin temperature reduction (Tab. 2), possibly due to the fact that a greater area received the treatment, leading to a faster activation of the thermoregulatory responses that protect the body from abrupt temperature changes.<sup>38</sup> Consequently, skin temperature was quickly stabilized and did not adequately reflect the effects of cooling on subcutaneous tissues.<sup>22</sup>

The cooling induced by the 3 modalities was effective in reducing the NCV and prolonging the latency and duration of the compound muscle and sensory action potentials (Tabs. 3 and 4). The effects of temperature reduction on nerve conduction parameters are well described in the literature<sup>27-30</sup> and may result from the changes in the structure of the axonal membrane<sup>39</sup> and from the conductance of the voltage-sensitive sodium and potassium channels.<sup>27</sup> Therefore, the cold reduces the nerve membrane current, which lengthens the refractory periods following a stimulus; as a result, the duration of the nerve action potential increases and the rate of impulse transmission decreases.

In the scientific literature, the relationship between the amplitude of compound action potential and temperature remains a controversial issue. Some studies that analyzed the effect of temperature changes on conduction parameters showed a negative relationship,<sup>40,41</sup> whereas other authors did not identify this relationship.<sup>27</sup> In the present study, cold water immersion significantly reduced the amplitude of compound muscle action potential (Tab. 3). Similarly, the ice massage and the ice pack reduced the amplitude of sensory compound action potential (Tab. 4). Perhaps the differences between the results of the present study and those of previous studies<sup>27,40,41</sup> are due to the differences in the skin temperature changes. In previous studies,<sup>27,40,41</sup> skin temperature decreased only from 33.6°C to 22.5°C, whereas in the present study, the cooling induced by all modalities was greater (from 31.6°C to 4°C).

The amplitude of the compound action potential represents the number of nerve fibers that responds to an appropriate electrical stimulus.<sup>34</sup> Therefore, the reduction of this parameter after the cold modality application could suggest an increase in the activation threshold of some nerve fibers, as well as a block of the fibers that are more sensitive to cooling. Additionally, the increase in the duration of the compound action potential is an indicator of alteration in the discharge synchronization of nerve fibers.<sup>34</sup>

The physiological mechanisms of the hypoalgesic effect of cryotherapy have not yet been completely elucidated. Different hypotheses have been proposed: (1) closing of the pain gate, (2) counter-irritant effect that activates inhibitory control mechanisms, (3) increase in the activation threshold of nociceptors, and (4) participation of descending pathways of the central nervous system that modulate pain by releasing endogenous opiates. It also has been suggested that the hypoalgesic effect of cryotherapy could be related to an increase in pain threshold and pain tolerance associated with a decrease in NCV.<sup>9</sup> We suggest that the inactivation of some nerve fibers, which is evident in the decrease in compound action potential amplitude, as well as the change in the synchronization response of these fibers could be other important physiological mechanisms for the hypoalgesic effect of cryotherapy. Studies are needed to investigate this hypothesis.

Although the present study did not include specific pain measurements, the results for the 3 modalities suggest that the hypoalgesic effect of cryotherapy may be produced mainly by the reduction in sensory fiber conduction because the cooling effect on the conduction parameters was usually greater in the sensory nerve than in the motor nerve (Tabs. 3 and 4). Ice massage, ice pack, and cold water immersion reduced sural NCV by 37.9%, 31.9%,



**Table 3.** Parameters of Tibial Motor Nerve Conduction Before and After Cold Modality Application<sup>a</sup>

Nerve Conduction Parameter	Ice Massage		Ice Pack		Cold Water Immersion	
	Pre-cooling	Post-cooling	Difference <sup>b</sup>	Pre-cooling	Post-cooling	Difference
Latency (ms)	3.47 (0.43) [3.19, 3.74]	3.62 (0.46) [3.32, 3.91]	0.15 (0.17) <sup>c</sup> [0.04, 0.26]	3.82 (0.60) [3.44, 4.21]	4.02 (0.63) [3.61, 4.42]	0.19 (0.14) <sup>c</sup> [0.10, 0.28]
Motor nerve conduction velocity (m/s)	49.67 (3.31) [47.56, 51.77]	47.17 (3.11) [45.20, 49.14]	-2.50 (1.31) <sup>c</sup> [-3.34, -1.67]	49.58 (3.73) [47.21, 51.95]	47.50 (2.81) [45.71, 49.29]	-2.08 (1.56) <sup>d</sup> [-3.08, -1.09]
Amplitude (mV)	14.9 (4.00) [12.36, 17.44]	14.04 (3.98) [11.51, 16.57]	-0.86 (1.77) [-1.99, 0.27]	16.72 (2.70) [15.00, 18.43]	16.12 (2.80) [16.12, 14.34]	-0.60 (1.04) [-1.26, 0.06]
Duration (ms)	5.39 (0.50) [5.07, 5.70]	5.74 (0.58) [5.37, 6.11]	0.35 (0.26) <sup>c</sup> [0.18, 0.52]	5.63 (1.04) [4.96, 6.29]	6.00 (1.01) [5.36, 6.64]	0.38 (0.16) <sup>d</sup> [0.27, 0.48]

<sup>a</sup> Data are presented as mean (SD) [95% confidence interval].

<sup>b</sup> Difference=post-cooling - pre-cooling.

<sup>c</sup> P<.05.

<sup>d</sup> P<.0001.

**Table 4.** Parameters of Sural Nerve Conduction Before and After Cold Modality Application<sup>a</sup>

Nerve Conduction Parameter	Ice Massage		Ice Pack		Cold Water Immersion	
	Pre-cooling	Post-cooling	Difference <sup>b</sup>	Pre-cooling	Post-cooling	Difference
Latency (ms)	2.93 (0.27) [2.76, 3.11]	4.62 (1.21) [3.85, 5.39]	1.68 (1.04) <sup>c</sup> [1.02, 2.35]	3.17 (0.33) [2.96, 3.38]	4.50 (0.71) [4.05, 4.95]	1.33 (0.60) <sup>d</sup> [0.95, 1.71]
Sensory nerve conduction velocity (m/s)	53.92 (2.84) [52.11, 55.72]	33.50 (5.76) [29.84, 37.16]	-20.42 (5.96) <sup>c</sup> [-24.20, -16.63]	52.42 (4.27) [49.70, 55.13]	35.67 (6.91) [31.28, 40.05]	-16.75 (5.53) <sup>c</sup> [-20.26, -13.24]
Amplitude (μV)	39.29 (12.18) [31.55, 47.03]	18.95 (11.30) [11.77, 26.13]	-20.34 (9.54) <sup>d</sup> [-26.40, -14.28]	39.97 (11.31) [32.78, 47.15]	24.86 (12.32) [17.03, 32.69]	-15.11 (11.10) <sup>c</sup> [-22.16, -8.05]
Duration (ms)	1.26 (0.10) [1.20, 1.32]	1.40 (0.17) [1.30, 1.50]	0.14 (0.14) <sup>c</sup> [0.05, 0.23]	1.38 (0.15) [1.28, 1.47]	1.53 (0.19) [1.40, 1.64]	0.15 (0.11) <sup>c</sup> [0.08, 0.22]

<sup>a</sup> Data are presented as mean (SD) [95% confidence interval].

<sup>b</sup> Difference=post-cooling - pre-cooling.

<sup>c</sup> P<.05.

<sup>d</sup> P<.0001.

**Table 5.**

Effects of Cold Modalities on Nerve Conduction Parameters (Analysis of Covariance, Using the Ice Massage Group as Reference)

Parameter	Tibial Motor Nerve				Sural Nerve			
	Ice Pack		Cold Water Immersion		Ice Pack		Cold Water Immersion	
	Coefficient ( $\beta$ )	Probability ( $P$ )	Coefficient ( $\beta$ )	Probability ( $P$ )	Coefficient ( $\beta$ )	Probability ( $P$ )	Coefficient ( $\beta$ )	Probability ( $P$ )
Latency	0.03	.87	3.23	<.0001	-0.54	.08	0.50	.09
Nerve conduction velocity	0.39	.51	-6.02	<.0001	3.18	.12	-2.11	.29
Amplitude	0.65	.47	-2.08	.022	5.43	.15	24.16	<.0001
Duration	0.04	.92	2.84	<.0001	0.02	.73	1.22	<.0001

and 41.8%, respectively. In contrast, these modalities reduced tibial motor NCV by only 5.0%, 4.2%, and 17.0%, respectively. It is difficult to compare these results with those of previous studies<sup>9,31</sup> because of the different intervention protocols and analyzed nerves. Algaflly and George<sup>9</sup> applied an ice pack for a mean time of 26 minutes and obtained a skin temperature of 10°C and a 33% reduction in sensory plantar NCV. McMeeken et al<sup>31</sup> used an ice pack for 15 minutes and obtained a skin temperature of 5.6°C and an approximate reduction of 13% in ulnar motor NCV. Even though these studies measured different nerves, in a broad sense they corroborate the results of the present study, which demonstrated a greater cooling effect on the sensory fibers than on the motor fibers. The greater sensibility of the sensory fibers to cooling may be due to their more superficial location compared with the motor fibers, which would explain why the functional effects of cryotherapy on sensibility<sup>42</sup> are more pronounced than the effects on muscle function.<sup>12</sup>

The depression of sensory and motor NCV derived from cooling modalities also may indicate the risks of deleterious effects associated with prolonged icing, such as skin burn and superficial nerve damage. Previous studies<sup>33,43</sup> have shown cases of nerve palsy resulting from ice application near the subcutaneous course

of nerves. The consequent disability was transient (1-4 days) or prolonged (4-6 months), with all patients eventually reaching full recovery. The application of cryotherapy is typically safe and beneficial if the protocol is appropriate and sufficiently monitored. However, clinicians must be aware of the location of major peripheral nerves, the thickness of the overlying subcutaneous fat, the method of application, the duration of tissue cooling, and the surface area covered.<sup>33,43</sup>

The results of the comparison of the effects of the 3 cold modalities on conduction parameters show that the cold water immersion protocol used in this study, although neither the most comfortable modality for the participant nor the easiest to apply, may be the most indicated for greater therapeutic effect mediated by the change in motor conduction (eg, in muscle spasm and spasticity [hypertonicity]). In contrast, the hypoalgesic effect could be induced by any of the 3 assessed modalities. Cold water immersion was more efficient in changing some parameters of sensory conduction, but the application of the 3 modalities lowered skin temperature to less than 13.6°C and reduced NCV by more than 10%. As suggested in previous studies,<sup>10,17</sup> these changes could be associated with the hypoalgesic effect of cryotherapy.

The present study had some methodological limitations that restrict the generalization of the results. The cooling area of the ice massage and ice pack was small compared with that of the cold water immersion and possibly smaller than those used in the clinical setting. The study sample comprised only young participants who were healthy, and the responses might have been different in older adults and individuals with clinical disorders. The time used for each modality (15 minutes) also may have been insufficient to induce greater effects on the motor nerve, especially in the case of the ice pack and the ice massage, which were applied to restricted areas. Considering that the nerve conduction evaluations were taken immediately before and after the cold modality application, the examiner was not blinded to the treatment group. This fact may limit the internal validity of the study. Subsequent studies are needed to determine the functional relevance of changes in nerve conduction induced by the cold modalities on sensibility and muscle strength, as well as the clinical importance of these changes. The present study contributes to the literature because, to our knowledge, it is the first study comparing the effect of 3 modalities frequently used in clinical practice on the parameters of motor and sensory nerve conduction.

## Conclusions

Ice massage, ice pack, and cold water immersion were effective in reducing skin temperature and changing most of the motor and sensory conduction parameters, with greater effects on the sensory nerve. Cold water immersion, as applied in this study, was the most effective modality in changing nerve conduction, especially in the tibial motor nerve. Our results can be considered clinically relevant and contribute to the informed choice of a cryotherapy modality based on the desired physiological and therapeutic effects.

All authors provided concept/idea/research design, writing, and consultation (including review of manuscript before submission). Ms Herrera and Dr Sandoval provided data collection. Ms Herrera, Dr Sandoval, and Ms Camargo provided data analysis. Ms Herrera provided project management and participants. Dr Salvini provided facilities/equipment.

The study protocol was approved by the Institutional Ethics Committee of Universidad Industrial de Santander. The study followed the Declaration of Helsinki.

Ms Herrera acknowledges Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brazil) for providing her doctoral grant.

This article was received April 22, 2009, and was accepted December 6, 2009.

DOI: 10.2522/ptj.20090131

## References

- 1 Knight KL. *Cryotherapy in Sport Injury Management*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1995.
- 2 Nadler SF, Weingand K, Kruse RJ. The physiological basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician*. 2004;7:395-399.
- 3 Bleakley C, McDonough S, MacAuley D. Use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: a systematic review of randomized controlled trials. *Am J Sports Med*. 2004;32:251-261.
- 4 Oliveira NML, Rainero EP, Salvini TF. Three intermittent sessions of cryotherapy reduce the secondary muscle injury in skeletal muscle of rat. *Journal Sports Science and Medicine*. 2006;5:228-234.
- 5 Hubbard TJ, Aronson SL, Denegar CR. Does cryotherapy hasten return to participation? A systematic review. *J Athl Train*. 2004;39:88-94.
- 6 Olson JE, Stravino VD. A review of cryotherapy. *Phys Ther*. 1972;52:840-853.
- 7 Kowal MA. Review of physiological effects of cryotherapy. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1983;5:66-73.
- 8 Hocutt JE. Cryotherapy. *Am Fam Physician*. 1981;23:141-144.
- 9 Algafly AA, George KP. The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *Br J Sports Med*. 2007;41:365-369.
- 10 Chesterton LS, Foster NE, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83:543-549.
- 11 Ruiz DH, Myrer JW, Durrant E, Fellingham GW. Cryotherapy and sequential exercise bouts following cryotherapy on concentric and eccentric strength in the quadriceps. *J Athl Train*. 1993;28:320-323.
- 12 Rubley MD, Denegar CR, Buckley WE, Newell KM. Cryotherapy, sensation, and isometric-force variability. *J Athl Train*. 2003;38:113-119.
- 13 Kimura IF, Gulick DT, Thompson GT. The effect of cryotherapy on eccentric plantar flexion peak torque and endurance. *J Athl Train*. 1997;32:124-126.
- 14 Merrick MA, Jutte LS, Smith ME. Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *J Athl Train*. 2003;38:28-33.
- 15 Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86:1411-1415.
- 16 Janwantanakul P. Different rate of cooling time and magnitude of cooling temperature during ice bag treatment with and with damp towel wrap. *Phys Ther Sport*. 2004;5:156-161.
- 17 Kennet J, Hardaker N, Hobbs S, Selve J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train*. 2007;42:343-348.
- 18 Zemke JE, Andersen JC, Guion WK, et al. Intramuscular temperature responses in the human leg to two forms of cryotherapy: ice massage and ice bag. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998;27:301-307.
- 19 Warren TA, McCarty EC, Richardson AL, et al. Intra-articular knee temperature changes: ice versus cryotherapy device. *Am J Sports Med*. 2004;32:441-445.
- 20 Myrer JW, Measom G, Fellingham GW. Temperature changes in the human leg during and after two methods of cryotherapy. *J Athl Train*. 1998;33:25-29.
- 21 Belitsky RB, Odam SJ, Hubley-Kozey C. Evaluation of the effectiveness of wet ice, dry ice, and cryogen packs in reducing skin temperature. *Phys Ther*. 1987;67:1080-1084.
- 22 Jutte LS, Merrick MA, Ingersoll CD, Edwards JE. The relationship between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82:845-850.
- 23 Myrer JW, Myrer KA, Measom GJ, et al. Muscle temperature is affected by overlying adipose when cryotherapy is administered. *J Athl Train*. 2001;36:32-36.
- 24 Otte JW, Merrick MA, Ingersoll CD, Cordova ML. Subcutaneous adipose tissue thickness alters cooling time during cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83:1501-1505.
- 25 Herrera E, Camargo DM, Delgado DC, Salvini TF. Reliability of superficial peroneal, sural, and medial plantar nerve conduction studies: analysis of statistical methods. *J Clin Neurophysiol*. 2009;26:295-380.
- 26 Greathouse DG, Currier DP, Joseph BS, et al. Electrophysiologic responses of human sural nerve to temperature. *Phys Ther*. 1989;69:914-922.
- 27 Dioszeghy P, Stalberg E. Changes in motor and sensory nerve conduction parameters with temperature in normal and diseased nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1992;85:229-235.
- 28 Halar EM, DeLisa JA, Brozovich FV. Nerve conduction velocity: relationship of skin subcutaneous and intramuscular temperatures. *Arch Phys Med Rehabil*. 1980;61:199-203.
- 29 Halar EM, Delisa JA, Brozovich FV. Peroneal nerve conduction velocity: the importance of temperature correction. *Arch Phys Med Rehabil*. 1981;62:439-443.
- 30 Halar EM, DeLisa JA, Soine TL. Nerve conduction studies in upper extremities: skin temperature corrections. *Arch Phys Med Rehabil*. 1983;64:412-416.
- 31 McMeeken J, Lewis MM, Cocks S. Effects of cooling with simulated ice on skin temperature and nerve conduction velocity. *Aust J Physiother*. 1984;30:111-114.
- 32 Pagano M. *Principles of Biostatistics*. Belmont, CA; Duxbury Press; 2000.
- 33 Malone TR, Engelhardt DL, Kirkpatrick JS, Bassett FH. Nerve injury in athletes caused by cryotherapy. *J Athl Train*. 1992;27:235-237.
- 34 Oh SJ. *Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies*. 3rd ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2002.
- 35 Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;8:307-310.
- 36 Siegel S, Castellan NJ Jr. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill Inc; 1988.
- 37 Vickers AJ, Altman DG. Statistics notes: analysing controlled trials with baseline and follow up measurements. *BMJ*. 2001;323:1123-1124.
- 38 Tikuisis P, Gonzalez RR, Pandolf KB. Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. *J Appl Physiol*. 1988;64:719-727.

- 39 Luzzati V, Mateu L, Marquez G, Borgo M. Structural and electrophysiological effects of local anesthetics and of low temperature on myelinated nerves: implication of the lipid chains in nerve excitability. *J Mol Biol.* 1999;286:1389-1402.
- 40 Kiernan MC, Cikurel K, Bostock H. Effects of temperature on the excitability properties of human motor axons. *Brain.* 2001; 124:816-825.
- 41 Bolton CF, Sawa GM, Carter K. The effects of temperature on human compound action potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1981;44:407-413.
- 42 Saeki Y. Effect of local application of cold or heat for relief of pricking pain. *Nurs Health Sci.* 2002;4:97-105.
- 43 Drez D, Faust DC, Evans JP. Cryotherapy and nerve palsy. *Am J Sports Med.* 1981; 9:256-257.