

# Índice de inteligibilidade (SII) e variação da intensidade do sinal de fala em crianças com deficiência de audição

## Intelligibility index (SII) and variation of speech signal intensity in hearing impaired children

Renata de Souza Lima Figueiredo<sup>1</sup>, Beatriz Mendes<sup>1</sup>, Maria Carolina Versolatto Cavanaugh<sup>1</sup>, Tatiana Medeiros Deperon<sup>1</sup>, Beatriz Novaes<sup>1</sup>

### RESUMO

**Objetivo:** Comparar valores do índice de inteligibilidade de fala amplificado, para diferentes entradas de sinal de fala (75, 65 e 55 dBNPS), gerados no processo de verificação dos aparelhos de amplificação sonora, nos diferentes graus e configurações de perdas auditiva. **Métodos:** Foram selecionadas 41 crianças com idades entre 3 e 80 meses, totalizando 78 orelhas (quatro orelhas foram excluídas). As perdas auditivas foram classificadas conforme grupos de audibilidade e intervalos do índice de inteligibilidade de fala. Foram analisados 234 valores do índice de inteligibilidade de fala para os estímulos de fala e estes foram também analisados, em relação aos grupos e intervalos de audibilidade. **Resultados:** Os grupos de audibilidade se deslocaram entre os intervalos do índice de inteligibilidade de fala, indicando a variação, conforme o nível de apresentação do sinal de entrada. Duas equações foram geradas para prever valores do índice de inteligibilidade de fala a partir do valor deste índice para o sinal de entrada de 65. **Conclusão:** Menores níveis de pressão sonora do estímulo de fala produzem menores índices de inteligibilidade de fala. Esta diferença é mais acentuada nos deficientes auditivos, que apresentam valores do índice de inteligibilidade de fala de 65 entre 36% e 55%.

**Palavras-chave:** Inteligibilidade de fala; Auxiliares de audição; Perda auditiva; Criança; Reabilitação de deficientes auditivos

### ABSTRACT

**Purpose:** To compare aided speech intelligibility index (SII) values in different speech signal inputs (75, 65, and 55 dBNPS), generated from the verification process of hearing aids, under different hearing loss severities and configurations. **Methods:** 41 children aged between three and 80 months old were selected, totalizing 78 ears (after exclusion of four ears). Hearing loss was classified according to audibility groups and SII intervals. Two hundred and thirty-four (234) SII values were analyzed as per speech stimulus and with regard to groups and audibility intervals. **Results:** Movement of audibility groups along SII intervals was observed, which indicates variation associated with the input signal intensity, as well as with the distance between the sound source and the hearing aid microphone. Two equations were generated to predict SII values from input signal SII65. **Conclusion:** Lower levels of speech stimulus sound pressure produce lower levels of speech intelligibility. This difference is more pronounced in hearing-impaired persons, who present SII values between 36 and 55%.

**Keywords:** Speech intelligibility; Hearing aids; Hearing loss; Children; Rehabilitation of hearing-impaired persons

Trabalho realizado no Centro Audição na Criança – CeAC, Divisão de Educação e Reabilitação dos Distúrbios da Comunicação – DERDIC, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP – São Paulo (SP), Brasil.

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP – São Paulo (SP), Brasil.

**Conflito de interesses:** Não.

**Contribuição dos autores:** RSLF elaboração do projeto de pesquisa (doutorado): estudo bibliográfico e metodológico, coleta e análise dos dados, elaboração e revisão do texto final; BM avaliação do projeto de pesquisa, revisão do texto final; MCVC coleta dos dados, revisão do texto final; TMD coleta dos dados, revisão do texto final; BN orientadora do projeto de pesquisa que deu origem a esse artigo: estudo metodológico, análise dos dados; elaboração e revisão do texto final.

**Financiamento:** Este estudo originou-se de uma tese de doutorado financiado pela CAPES – PROSUP.

**Autor correspondente:** Renata de Souza Lima Figueiredo. E-mail: [rsl.figueiredo@gmail.com](mailto:rsl.figueiredo@gmail.com)

**Recebido:** Julho 20, 2016; **Aceito:** Maio 21, 2018

## INTRODUÇÃO

Na última década, muitas pesquisas têm apontado resultados favoráveis para o desenvolvimento de linguagem, em programas de intervenção em bebês com deficiência de audição, que iniciaram a intervenção no primeiro ano de vida. As pesquisas confirmam a importância da adequação da amplificação para a garantia da audibilidade dos sons de fala como uma das condições para o desenvolvimento de linguagem das crianças com deficiência auditiva<sup>(1-6)</sup>.

O Índice de Inteligibilidade de Fala (SII), do inglês *Speech Intelligibility Index*, é um valor que está altamente correlacionado com a inteligibilidade de fala sob condições adversas de escuta, como ruídos mascarantes, filtros e reverberação<sup>(7)</sup>.

Na área da Audiologia, esse valor é usado como medida para avaliar a audibilidade do sinal de fala no processo de seleção, durante a verificação eletroacústica dos aparelhos de amplificação sonora individual (AASI), como ferramenta de auxílio na verificação alvo-saída para estímulo de fala, em diferentes níveis de pressão sonora. É utilizado, também, como uma estratégia de orientação a famílias e medida preditora de audibilidade para sons de fala, em diferentes tipos de ambiente sonoro<sup>(8)</sup>.

Tornar todos os sons audíveis pode não garantir discriminação dos sons. Muitos fatores estão envolvidos na capacidade de discriminação e, em indivíduos com deficiência auditiva, além de alterações do processamento neural do sinal, distorções podem ser causadas pelos AASI, que prejudicam ou tornam impossível a discriminação de um sinal de fala<sup>(9)</sup>.

Além dos fatores inerentes à deficiência auditiva, há fatores externos que podem interferir na audibilidade de sons de fala, prejudicando a integridade do sinal acústico: distância, ruído, reverberação. Portanto, as condições do ambiente também precisam ser consideradas, quando lidamos com bebês e crianças com deficiência auditiva.

É importante que a criança tenha acesso aos sons de fala em diferentes tipos de situação (distâncias e ambientes), já que grande parte do aprendizado é consequência da “escuta incidental”<sup>(10)</sup>.

A distância altera o “volume” da voz. Sempre que houver distância, a fonte sonora do ouvinte dobra e a intensidade da voz diminui em 6 dB. Essa relação entre distância e intensidade do sinal de fala é conhecida como a “regra dos 6 dB”<sup>(11)</sup>.

Sendo assim, a distância é condição para audibilidade. Ao longo do crescimento do bebê, isso se torna crucial, já que o desenvolvimento motor permite que, naturalmente, a criança se distancie cada vez mais do falante. Portanto, o profissional deve orientar a família sobre a distância em que a criança tem audibilidade, para propiciar o aprendizado.

Por conseguinte, estudar a variação da intensidade do sinal de fala e audibilidade, na perspectiva de orientar a família e as condutas clínico-terapêuticas, logo no início do processo de intervenção, se torna importante para o desenvolvimento da linguagem da criança.

Este estudo teve como objetivo analisar, comparativamente, os valores de SII amplificado para as diferentes entradas 75, 65 e 55 dBNPS de sinal de fala, gerados no processo de verificação dos AASI ajustados, conforme regra prescritiva DSL v5.0 (*Desired Sensation Level*), nos diferentes graus e configurações de perda auditiva sensorioneural. Os achados buscam, ainda, relacionar audibilidade e distância para

orientar o processo de intervenção terapêutica e tomadas de decisão clínico-terapêuticas, logo nos primeiros meses de uso da amplificação.

## MÉTODOS

### Local da pesquisa e preceitos éticos

Este estudo foi realizado no Centro Audição na Criança (CeAC), ligado à Divisão de Educação e Reabilitação dos Distúrbios da Comunicação da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – DERDIC/PUC-SP e ao Programa de Estudos Pós-Graduados em Fonoaudiologia/Linha de Pesquisa Audição na Criança, da Faculdade de Ciências Humanas e da Saúde da PUC-SP. Parte de um projeto de estudo mais abrangente, sobre o processo de verificação e validação da amplificação sonora em crianças com deficiência auditiva, este estudo seguiu os preceitos estabelecidos no código de ética para pesquisa com seres humanos e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da PUC-SP, conforme protocolo nº 337/2010.

### Sujeitos da pesquisa

#### *Critérios de seleção*

Foram selecionados 41 pacientes, com idades entre 4 e 80 meses, com diagnóstico de deficiência auditiva sensorioneural de qualquer grau e configuração, que participaram do processo de seleção de AASI durante o ano de 2011, totalizando 82 orelhas. Deste total, foram excluídas duas orelhas de sujeitos usuários de implante coclear (IC) e duas orelhas de sujeitos com anacusia, resultando, portanto 78 orelhas para análise. Para todas as crianças foram indicados AASI não lineares.

#### *Classificação da perda auditiva*

As orelhas foram classificadas conforme grupos e intervalos de SII65<sup>(12)</sup>. Foi proposta uma classificação que considerasse a dinâmica da relação entre grau e configuração da perda auditiva. O Quadro 1 resume o resultado da classificação das perdas auditivas em cinco grupos.

### Procedimentos

#### *Determinação dos limiares auditivos para análise*

Os limiares auditivos utilizados na programação (LP) dos aparelhos foram determinados a partir da avaliação audiológica, conforme o protocolo estabelecido pela equipe da instituição. Para a análise, foram utilizados os limiares dBNA (LP), nas frequências de 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz. Quando a resposta para as frequências era ausente, até o limite dos equipamentos, o valor considerado foi o registrado no *software* Noah®, para programação dos AASI.

**Quadro 1.** Classificação das perdas auditivas por grupo e intervalos de SII65, segundo Figueiredo et al.<sup>(12)</sup>

Grupos	Características audiológicas	Intervalos de SII65 (Int <sub>SII</sub> )
Gr1	Grau profundo/configurações horizontais	Int <sub>SII ≤ 35</sub> SII65 até 35%
Gr2	Grau profundo/configurações descendentes leves	
Gr3	Grau profundo/configurações descendentes acentuadas ou em rampa	
Gr4	Grau severo e profundo até 90 dBNA/ configurações horizontais e descendentes leves	Int <sub>SII 36-55</sub> SII65 entre 36 e 55%
Gr5	Grau moderado e severo até 66 dBNA/ configurações horizontais e descendentes leves	Int <sub>SII ≥ 56</sub> SII65 maiores que 55%

Legenda: SII = *Speech Intelligibility Index* - Índice de Inteligibilidade de Fala; Int<sub>SII</sub> = Intervalo de Índice de Inteligibilidade de fala; Gr = Grupo

### Obtenção valores SII

A partir dos limiares estabelecidos no processo diagnóstico, foram selecionados e programados AASI, seguindo a regra prescritiva DSL v5.0. Foram realizadas medidas RECD (*real ear to coupler difference*) com os moldes auriculares. Quando isso não foi possível, utilizaram-se os valores preditos pela referida regra.

Com limiares auditivos e RECD (medido ou predito), os AASI foram programados por meio do *software* das respectivas empresas dos aparelhos. Recursos como compressão ou transposição de frequências, quando disponíveis para o modelo de AASI, foram desativados. Para outros recursos, como redutor de ruído, direcionalidade e expansão seguiu-se a recomendação do fabricante para o modo de verificação adequado de cada modelo.

As medidas de verificação para sons de fala de 55, 65 e 75 dBNPS e para saída máxima - *maximum power output* - MPO (90 dBNPS) foram realizadas no equipamento Verifit®Audioscan.

Para as medidas de verificação em acoplador, ou *in situ*, a partir das curvas de respostas dos AASI, em função das frequências obtidas com um sinal de entrada de fala, o equipamento calcula valores de SII em porcentagem, para uma entrada de 65 dBNPS sem amplificação e, com amplificação, para diferentes entradas de estímulo de fala, nos níveis de pressão sonora de 40 a 75 dB. O cálculo realizado pelo equipamento usa o método de 1/3 de oitava de frequências, descrito pelo *American National Standards Institute* (ANSI S3.5-1997), sem considerar a banda de frequências de 160 Hz e sem ruídos mascarantes, ou seja, o equipamento calcula o SII para um ambiente ideal de escuta. Para o cálculo do SII, o equipamento Verifit®Audioscan considera a área dinâmica do estímulo de fala e efeitos de distorção relativos à intensidade do sinal de entrada.

Os valores de SII são representados em uma escala de zero a 100%, em que zero significa nenhuma audibilidade e 100, audibilidade para todos os sons de fala.

Os estímulos usados para a verificação dos AASI foram o *Standard-speech* (*Speech-std 1*) e o *Carrot passage* e varredura de tom puro (saída máxima - MPO).

Para a determinação dos valores semelhantes entre as características eletroacústicas de ganho e saída, prescritas no *software* DSL v5.0, e os valores encontrados nos AASI, foi utilizada a diferença de 3 dB positivos ou negativos<sup>(13)</sup>.

Foram analisados os valores de SII para estímulo de fala de 75, 65 e 55 dBNPS, denominados, a partir deste ponto, de SII75, SII65 e SII55, respectivamente.

No processo de verificação dos AASI, foram obtidos, portanto, três valores de SII para cada orelha, totalizando 234 valores de SII.

### Análise de dados

Os valores de SII75, SII65 e SII55 foram comparados, para a análise dos efeitos da distância no índice de inteligibilidade de fala. Para tanto, um sinal de entrada de 75 dBNPS pode ser considerado como uma fonte sonora próxima ao microfone do AASI; um sinal de entrada de 65 dBNPS é considerado como uma distância conversacional e, para a entrada de 55 dBNPS, podem ser consideradas distâncias mais longas, a partir de dois metros, entre o falante e o microfone do AASI.

### Análise do comportamento dos valores de SII75, SII65 e SII55, em relação aos grupos e intervalos de SII65 (Int<sub>SII</sub>)

A partir da classificação das orelhas, conforme grupos e intervalos de SII65 sugeridos por Figueiredo et al.<sup>(12)</sup>, foram analisados, em conjunto, o comportamento dos valores de SII, conforme a mudança do nível de pressão sonora do sinal de entrada (75, 65 e 55 dBNPS).

### Análise das relações entre SII75 e SII65 e entre SII55 e SII65

Para estudar a relação das diferenças entre SII55 e SII65 e entre SII75 e SII65, foram ajustados modelos de regressão, a partir dos quais foram derivadas as expressões da diferença entre os dois SII analisados e determinados os valores de SII65, cujas diferenças são máximas, visando analisar a mudança do SII em relação ao aumento e diminuição do sinal de entrada.

As médias das diferenças entre SII75 e SII65 e entre SII55 e SII65 foram comparadas nos cinco grupos de orelhas. Para localizar as diferenças entre as médias, foi adotado o método de Tukey<sup>(14)</sup>. Foram formados grupos com médias iguais, estimadas as médias e construídos intervalos de confiança de 95% para a média das diferenças.

Nos testes de hipótese, foi adotado nível de significância de 0,05.

## RESULTADOS

### Análise do comportamento dos valores de SII75, SII65 e SII55, em relação aos grupos e intervalos de SII (Int<sub>SII</sub>)

O comportamento conjunto dos valores de SII75, SII65 e SII55, em relação à média de frequências 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, pode ser visualizado nos diagramas de dispersão dispostos na

Figura 1. Foram acrescentadas linhas horizontais, representando os intervalos (Int<sub>SII</sub>) estabelecidos a partir das análises do SII65 (conforme Quadro 1).

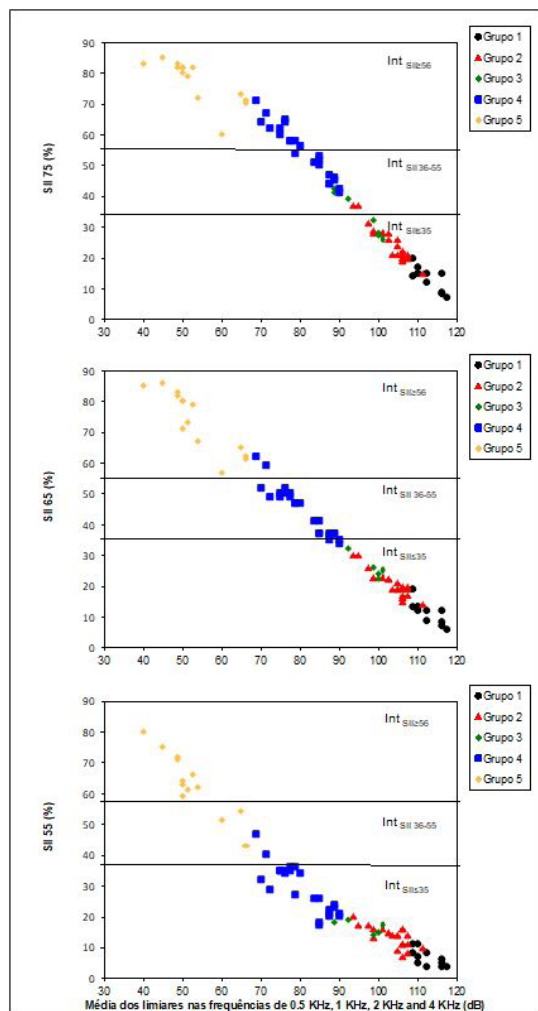


Figura 1. Diagrama de dispersão dos valores de SII75, SII65 e SII55 e a média dos limiares nas frequências 500, 1000, 2000 e 4000 Hz (dBNA) e os intervalos estabelecidos a partir da análise do SII65  
**Legenda:** SII = Speech Intelligibility Index - Índice de Inteligibilidade de Fala

Foi possível observar que os grupos se deslocaram entre os intervalos estabelecidos, indicando que a variação do sinal de entrada, ou a variação da distância entre a fonte sonora e microfone do AASI, afetou diretamente os valores de SII amplificado, principalmente quando comparados os valores gerados a partir da entrada de 65 e 55 dBNPS. Notou-se que o grupo que mais se deslocou entre os intervalos foi o Gr4, composto por crianças com perdas auditivas de grau severo e profundo, segundo a classificação da *World Health Organization – WHO*<sup>(15)</sup>.

No Gr4, a maioria das orelhas estava agrupada no intervalo Int<sub>SII36-55</sub>, para os valores de SII65 e, quando se alterou o nível de apresentação do sinal de entrada para 55 dBNPS, observou-se que a maioria delas se deslocou para o intervalo Int<sub>SII≤35</sub>. Por outro lado, aproximadamente a metade do grupo subiu para o intervalo de valores de SII65 maior que 56% (Int<sub>SII≥56</sub>), com o aumento do sinal de entrada para 75 dBNPS.

No Gr5, no qual as orelhas com SII65 encontravam-se no intervalo Int<sub>SII≥56</sub>, com a diminuição do sinal de entrada para 55 dBNPS, não se observou grande deslocamento entre os intervalos de valores de SII65. Apenas algumas orelhas com valores de SII65 mais próximos de 56% se deslocaram para o intervalo Int<sub>SII36-55</sub>. Pode-se considerar o Gr5 como o grupo menos afetado pela mudança do sinal de entrada, ou mudança da distância, quando analisados os valores de SII amplificado.

Observou-se que Gr1, Gr2 e Gr3 também foram grupos que não se deslocaram entre os intervalos, com redução do sinal de entrada. Para um sinal de 65 dBNPS, eles já apresentavam baixos índices de inteligibilidade de fala. Com o aumento do nível de pressão sonora para 75 dB, verificou-se que apenas parte das orelhas do Gr3 alcançou valores de SII no intervalo Int<sub>SII36-55</sub>.

### Relações entre SII75 e SII65 e entre SII55 e SII65

O comportamento conjunto do SII75 e do SII65 (A) e o comportamento conjunto do SII55 e do SII65 (B) está demonstrado na Figura 2.

A equação da curva representada na Figura 2A, que relaciona as duas variáveis (SII75 como variável resposta e SII65 como variável explicativa) é:

$$SII75 \text{ previsto} = 0,1 \times SII65 + 0,007 \times SII65^2 - 0,0001 \times SII65^3, \quad (1)$$

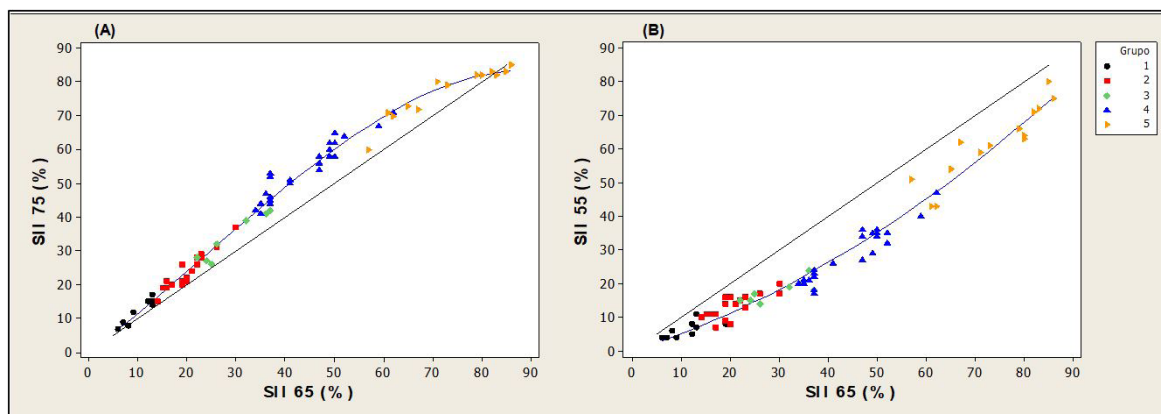


Figura 2. Diagramas de dispersão: (A) do SII75 e SII65 com curva ajustada e reta SII75 = SII65; e (B) do SII55 e SII65 com curva ajustada e reta SII55 = SII65  
**Legenda:** SII = Speech Intelligibility Index - Índice de Inteligibilidade de Fala

ou seja, a relação entre o SII75 e o SII65 é explicada por um polinômio do terceiro grau. O valor do SII65, para o qual a distância entre os dois SII (SII75 e SII65) é máxima, foi obtido analiticamente, encontrando-se o valor SII65 igual a 53,3%.

A equação da curva representada na Figura 2B, que relaciona as duas variáveis (SII55 como variável resposta e SII65 como variável explicativa) é:

$$SII55 \text{ previsto} = 0,47 \times SII65 + 0,0047 \times SII65^2, \quad (2)$$

ou seja, a relação entre o SII55 e o SII65 é explicada por uma parábola. Observou-se que a distância entre as duas curvas tornou-se maior com o aumento de SII65 até, aproximadamente, o valor de 55% e, depois, tendeu a diminuir. O valor do SII65, para o qual a distância é máxima, foi obtido analiticamente, encontrando-se o valor SII65 igual a 56,4%.

Valores de estatísticas descritivas para as diferenças entre os valores de SII75 e os valores de SII65 e entre os valores de SII55 e SII65, em cada grupo, são encontrados na Tabela 1.

A técnica de análise de variância foi utilizada para comparar as médias das diferenças nos cinco grupos, para as relações SII75 e SII65 e SII55 e SII65. Constatou-se que houve variação entre as médias das diferenças nos cinco grupos ( $p < 0,001$ ). O método de Tukey foi, então, utilizado para localizar as diferenças entre as cinco médias. Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 2.

Com base nos resultados acima, os grupos com igual média foram unidos, as médias das diferenças foram reestimadas e construídos intervalos de confiança para a média das diferenças. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas para as diferenças entre SII75 e SII65 (SII75 - SII65) e entre SII55 e SII65 (SII65 - SII55) nos cinco grupos (n=78)

	Grupo	n	média	desvio padrão	mínimo	mediana	máximo
SII75 - SII65	Gr1	11	2,1	1,2	0	2	4
	Gr2	22	3,8	2,1	1	3,5	7
	Gr3	7	4,7	2,1	1	5	7
	Gr4	24	10,2	2,7	6	9	16
	Gr5	14	3,8	3,9	-2	3	10
	Total (SII75 - SII65)	78	5,6	4,0	-2	5	16
SII65-SII55	Gr1	11	4,6	2,9	2	4	11
	Gr2	22	7,0	2,8	3	7	13
	Gr3	7	11,4	4,0	7	12	19
	Gr4	24	15,7	2,6	11	15	20
	Gr5	14	11,9	4,5	5	11,5	19
	Total (SII65 - SII55)	78	10,6	5,2	2	11	20

**Legenda:** SII = *Speech Intelligibility Index* - Índice de Inteligibilidade de Fala; Gr = Grupo

**Tabela 2.** Resultados obtidos na comparação das médias da diferença entre SII75 e SII65 e entre SII55 e SII65 nos cinco grupos, duas a duas, método de Tukey

	Grupo (I)	Grupo (J)	Diferença das médias (I-J)	Erro padrão	valor de p	
SII75 e SII65	Gr1	Gr2	-1,7	0,96	0,414	
		Gr3	-2,6	1,26	0,241	
		Gr4	-8,1	0,95	<0,001	
		Gr5	-1,7	1,05	0,496	
		Gr2	Gr3	-0,9	1,13	0,920
	Gr2	Gr4	-6,4	0,77	<0,001	
		Gr5	0,0	0,89	1,000	
		Gr3	Gr4	-5,5	1,12	<0,001
		Gr5	0,9	1,21	0,939	
		Gr4	Gr5	6,4	0,88	<0,001
SII55 e SII65	Gr1	Gr2	-2,4	1,20	0,270	
		Gr3	-6,8	1,57	<0,001	
		Gr4	-11,1	1,18	<0,001	
		Gr5	-7,3	1,31	<0,001	
		Gr2	Gr3	-4,4	1,41	0,021
	Gr2	Gr4	-8,7	0,96	<0,001	
		Gr5	-4,9	1,11	<0,001	
		Gr3	Gr4	-4,3	1,39	0,024
		Gr5	-0,5	1,50	0,997	
		Gr4	Gr5	3,8	1,09	0,008

**Legenda:** SII = *Speech Intelligibility Index* - Índice de Inteligibilidade de Fala; Gr = Grupo

**Tabela 3.** Médias da diferença entre SII75 e SII65 (SII75 - SII65) e entre SII55 e SII65 (SII65 - SII55) nos grupos formados após a análise de variância e intervalos de confiança de 95%

	Grupo	Média	N	Limite inferior	Limite superior
SII75 e SII65	Gr1+Gr2+Gr3+Gr5	3,56	54	2,86	4,26
	Gr4	10,17	24	9,13	11,21
SII55 e SII65	Gr1+Gr2	6,24	33	5,13	7,35
	Gr3+Gr5	11,76	21	10,37	13,15
	Gr4	15,71	24	14,41	17,01

**Legenda:** SII = *Speech Intelligibility Index* - Índice de Inteligibilidade de Fala; Gr = Grupo

**Tabela 4.** Coeficientes de correlação de Pearson das diferenças SII75 - SII65 e SII65 - SII55 e os limiares auditivos em 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz (n=78)

		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SII75 - SII65	r	-0,15	-0,12	-0,19	-0,28	-0,30
	p	0,193	0,306	0,098	0,013	0,008
SII65 - SII55	r	-0,42	-0,42	-0,48	-0,59	-0,59
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

**Legenda:** SII = *Speech Intelligibility Index* - Índice de Inteligibilidade de Fala; r = valor de correlação de Pearson; p = nível de significância

Os valores do coeficiente de correlação de Pearson da diferença SII75 - SII65 e SII65 - SII55 e os limiares auditivos em 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz estão apresentados na Tabela 4.

## DISCUSSÃO

Conhecer as características audiológicas e os resultados de uma amplificação adequada, permitiu estudar a variabilidade da audibilidade para sons de diferentes intensidades.

Quando comparados os valores de SII para os níveis de pressão sonora de 75, 65 e 55 dBNPS, em relação aos três intervalos de SII65, notou-se que, com a diminuição do sinal de entrada de 65 para 55 dBNPS, as orelhas do Gr4, pertencentes ao intervalo  $Int_{SII36-55}$ , deslocaram-se, em sua maioria, para o intervalo de valores de SII65 abaixo de 35% ( $Int_{SII\leq 35}$ ), enquanto, no Gr5, apenas as que tinham valores de SII65 próximos do limite inferior deslocaram-se para um intervalo abaixo ( $Int_{SII36-55}$ ). Já os grupos Gr1, Gr2 e Gr3, todos pertencentes ao intervalo de menores valores SII65 ( $Int_{SII\leq 35}$ ), não se deslocaram entre os intervalos, com a redução do nível do sinal de entrada.

Tal fato está relacionado com as limitações da amplificação inerentes ao campo dinâmico da audição - faixa compreendida entre os limiares auditivos e os limiares de desconforto. Um campo dinâmico de, aproximadamente, 45 dB é necessário para a percepção auditiva das mudanças de intensidade dos componentes acústicos do sinal de fala<sup>(16)</sup>.

Em áreas dinâmicas da audição menor que 45, dB, entre os limiares mínimos de audibilidade e os limiares máximos de desconforto, não é possível, portanto, “acomodar” todos os níveis de apresentação do sinal de fala - do fraco ao forte - para que a criança consiga perceber e identificar as diferenças do sinal acústico. Crianças com características audiológicas como as dos Gr1, Gr2 e Gr3 exemplificam os casos com área dinâmica muito reduzida e, por esta razão, não se observaram mudanças nos intervalos de SII, com o aumento ou diminuição do sinal de entrada, já que, para o sinal de entrada conversacional de 65 dBNPS, os valores de SII obtidos estão no intervalo de até 35%.

Para os casos com as características audiológicas do Gr5, também não se verificou mudança de intervalo de valores de SII, quando alterado o sinal de entrada, porém, por razão oposta aos grupos Gr1, Gr2 e Gr3. O Gr5 era o grupo de orelhas com perda auditiva de grau moderado, portanto, audiogramas com campo dinâmico suficiente para “acomodar” sons de fraca a forte intensidades, permitindo a percepção das mudanças do nível de pressão sonora do sinal de entrada. Crianças com perda auditiva com características como as do Gr5 e com audibilidade expressa por valores de SII acima de 55% têm acesso a todos os sons de fala, até para os níveis de pressão sonora mais fracos (55 dBNPS).

Já as crianças do Gr4, com média dos limiares até 90 dBNA, foram os casos mais afetados com a alteração do nível de apresentação do sinal de entrada, pois o campo dinâmico é estreito, ou o mínimo suficiente, para “acomodar” os diferentes níveis de apresentação do sinal acústico, o que, conseqüentemente, com a diminuição do sinal de entrada, leva a uma grande perda, em termos de audibilidade de fala, passando de um intervalo de SII de 36% a 55%, para valores menores que 35% ( $Int_{SII\leq 35}$ ).

Crianças com características audiológicas como as do Gr1, Gr2 e Gr3, portanto, são aquelas que, desde o início do processo de intervenção, precisam de encaminhamento para indicação do IC, para proporcionar audibilidade suficiente para o desenvolvimento da linguagem oral. As crianças com as características do Gr4 são os casos em que a audibilidade é vulnerável, ou seja, fatores externos, como distância e ruído podem interferir a ponto de sons de fala de fraca intensidade não serem percebidos ou identificados pela criança. A redução do nível de pressão sonora do sinal de fala prejudica o acesso do sinal acústico em diversas situações de aprendizagem.

Considerando a Regra dos 6-dB<sup>(11)</sup>, que refere que, quando a distância entre a fonte sonora e o ouvinte dobra, a intensidade do som diminui 6 dB, distância é um fator que pode interferir no desenvolvimento da linguagem, já que altera o acesso aos sons de fala.

Ouvir à distância está relacionado ao aprendizado incidental<sup>(10)</sup>. A criança aprende grande parte da língua oral de forma indireta, quando conversas não estão direcionadas a ela. O acesso às conversas ocorre à distância, sem que a criança

esteja diretamente atenta a elas. Portanto, qualquer grau de perda auditiva significa uma barreira para a capacidade da criança de receber informações do ambiente.

Observou-se, nas análises comparativas entre os valores de SII e os intervalos de valores estabelecidos a partir das características audiológicas das orelhas estudadas, que bebês e crianças com perdas auditivas como as do Gr4 são as que mais perdem em audibilidade, expressa por valores de SII65, com a diminuição do sinal de entrada, e que, para bebês e crianças com perdas auditivas como as dos grupos Gr1, Gr2 e Gr3, a amplificação apresenta limitações ao acesso a todos os sinais de fala.

Nesse sentido, desde o início do processo de intervenção fonoaudiológica, na seleção e indicação dos aparelhos de amplificação sonora, o fonoaudiólogo deve conhecer as limitações da amplificação de cada caso e orientar as famílias quanto a isso e quanto aos cuidados que devem ser tomados com relação à distância e outros fatores que possam, também, interferir na audibilidade dos sons de fala.

Nas análises comparativas entre os valores de SII amplificados resultantes de estímulos de fala a 75 e 65 dBNPS, observou-se que as maiores diferenças entre os valores de SII foram para os valores de SII65 de 53,3%, ou seja, quando, na verificação dos AASI, obtêm-se valores de SII65 aproximados a 53,3%, sabe-se que, com o aumento do nível de pressão sonora do sinal de entrada, haverá maior aumento na audibilidade de sons de fala. Além disso, conforme o valor de SII65 aumenta, a diferença entre o SII75 e SII65 tende a diminuir gradativamente, até que, para valores de SII65 próximos a 80%, é observada uma diferença mínima, ou até negativa, entre os valores. Portanto, o aumento do nível de apresentação do sinal de fala para sujeitos com audibilidade expressa por valores de SII65 próximos a 80% (perdas auditivas com características do Gr5 com intervalo de SII  $\text{Int}_{\text{SII} \geq 56}$ ) não implica melhora da audibilidade dos sons de fala.

Pessoas com perda auditiva do tipo sensorioneural, de qualquer grau e configuração, têm a área dinâmica da audição reduzida, de forma que, o aumento da sensação de intensidade, diferentemente do que ocorre com pessoas com audição normal, não é linear. Portanto, aumentar o nível de pressão sonora não significa, necessariamente, aumentar a audibilidade e inteligibilidade da fala<sup>(17)</sup>.

O ANSI<sup>(7)</sup> referiu limitações do cálculo do índice de inteligibilidade de fala em indivíduos com perda auditiva. Embora o limiar auditivo seja uma das variáveis para o cálculo do SII, o escopo da norma SII é limitado aos sujeitos com audição normal. As patologias da audição podem ter efeitos sobre a inteligibilidade da fala, além do previsto pelos limiares auditivos.

A análise de variância utilizada para comparar as médias das diferenças entre os valores de SII75 e SII65, nos cinco grupos, mostrou que o Gr4, com valores de SII65 no intervalo de 36% a 55% ( $\text{Int}_{\text{SII} 36-55}$ ), teve a maior média das diferenças. Tal fato implica que a audibilidade de crianças com essas características audiológicas se beneficia com o aumento da intensidade do sinal de entrada, ou com a redução da distância entre a fonte sonora e o microfone do AASI. Isso já não aconteceu com os grupos Gr1, Gr2 e Gr3, cujo campo dinâmico da audição era muito reduzido, em todas as faixas de frequências (Gr1 e Gr2), ou em algumas faixas de frequências (curvas audiométricas descendentes acentuadas ou em rampa, como as do Gr3).

A correlação das diferenças entre os valores de SII75 e SII65 e os limiares auditivos estudados (250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz)

resultou negativa para todas as frequências, principalmente para as de 2000 e 4000 Hz. Sendo assim, à medida que os limiares auditivos aumentam (perdas auditivas de maior grau), as diferenças entre os valores de SII75 e SII65 diminuem, principalmente nas frequências 2000 e 4000 Hz, indicando a necessidade de considerar, em conjunto, configuração e grau da perda auditiva, na avaliação dos índices de inteligibilidade de fala.

Esses achados estão de acordo com outros estudos<sup>(18-21)</sup>, que mediram inteligibilidade de fala amplificada em determinadas faixas de frequências e mostraram que o aumento do ganho para as frequências mais altas é benéfico para o reconhecimento de fala, em perdas auditivas com limiares até 60 a 80 dBNA. Para perdas auditivas piores que 80 dBNA, o aumento da intensidade na faixa de frequências altas significou, em alguns casos, piora na inteligibilidade de fala. Esses estudos concluíram, então, que os valores de SII para reconhecimento de fala, em adultos, são menos precisos para perdas auditivas de configuração descendente e graus maiores de perda auditiva.

No processo de seleção e indicação de AASI em bebês e crianças, tais achados indicam a necessidade de cuidados ao avaliar a audibilidade expressa pelos valores de SII, pois, nos casos de perda auditiva com configuração descendente, o índice de inteligibilidade de fala parece não representar bem o que se espera como resultado para reconhecimento de fala<sup>(22)</sup>.

As mesmas análises comparativas realizadas entre os valores de SII75 e SII65 também foram realizadas entre os valores de SII55 e SII65. Obteve-se, nestas análises, que, conforme os valores do SII65 aumentaram, a diferença entre os valores de SII55 e SII65 também aumentaram, até, aproximadamente, um valor de SII65 de 56,4%. Depois, a diferença tendeu a diminuir, indicando que, para crianças com audibilidade expressa por valores de SII65, no intervalo de 36% a 55% ( $\text{Int}_{\text{SII} 36-55}$ ), a diminuição do sinal de entrada para 55 dBNPS implica redução dos valores de SII para o intervalo de valores até 35% ( $\text{Int}_{\text{SII} \leq 35}$ ), significando piora na audibilidade, para todos os sons de fala.

Um estudo relacionou desenvolvimento do balbucio canônico e audibilidade e comprovou que um valor de SII igual ou menor que 35% impossibilita o aparecimento das produções das consoantes no balbucio de bebês<sup>(23)</sup>. Portanto, crianças com valores de SII65 no intervalo  $\text{Int}_{\text{SII} 36-55}$ , têm o acesso para sons de fala prejudicado, à medida que a intensidade do sinal de entrada diminui.

As médias das diferenças entre os valores de SII55 e SII65 mostraram que, para os grupos Gr1 e Gr2 (menores médias), a diminuição do sinal de entrada pode não significar prejuízos para a audibilidade, visto que, nestes casos, a amplificação tem limitações, ao proporcionar o acesso a sons de fala, até mesmo para intensidade conversacional (65 dBNPS), sendo estes os casos com indicação para IC.

Nos grupos Gr3 e Gr5, as médias das diferenças foram maiores que as dos grupos Gr1 e Gr2 e similares entre si e, assim, foram agrupadas, indicando que crianças com essas características audiológicas tendem a perder audibilidade, com a diminuição da intensidade do sinal de entrada, mas é necessário avaliar as características das perdas auditivas.

Conforme exposto anteriormente, nas diferenças entre os valores de SII75 e SII65, as perdas auditivas com configuração descendente acentuada, ou em rampa (Gr3), podem não ser bem representadas, em relação à audibilidade e à inteligibilidade de fala, pelos valores de SII. Na análise de correlação entre as diferenças de SII55 e SII65 e os limiares auditivos nas frequências estudadas, obteve-se que todas as frequências tiveram forte

correlação com as diferenças, com maiores coeficientes para as frequências 2000 e 4000 Hz, indicando, mais uma vez, a importância da configuração da perda auditiva para os índices de inteligibilidade de fala.

As perdas auditivas do Gr5 foram aquelas com valores de SII65 no intervalo  $\text{Int}_{\text{SII} \geq 56}$ . Na análise das diferenças para a intensidade de 55 dBNPS, observou-se que, a partir de um valor de SII65 aproximado de 56,4%, as diferenças tenderam a diminuir, indicando que, para crianças com audibilidade maior ou igual a 56%, conforme a audibilidade para a intensidade 65 dBNPS melhora, menos se perde, quando a intensidade do sinal de fala diminui.

As análises comparativas entre os valores de SII75-SII65 e SII55-SII65 geraram, ainda, duas equações que permitem ao fonoaudiólogo prever, a partir do valor de SII65, qual a audibilidade para o sinal de entrada de 55 dBNPS e 75 dBNPS, para cada caso, e, assim, orientar a família quanto aos efeitos da intensidade do sinal de entrada para a audibilidade da criança e desenvolvimento de linguagem. Tais equações podem ser de grande valia durante o processo de intervenção fonoaudiológica para o entendimento da família em relação à audição da criança.

Nas fases iniciais do desenvolvimento, os bebês estão no colo, o que facilita o acesso aos sons de fala, pois a distância entre a mãe ou quem fala com eles não prejudica a intensidade do sinal. No entanto, quando a criança passa a engatinhar e depois a andar, a distância aumenta e grande parte do sinal de fala é perdido. Nesta fase, a deficiência de audição torna-se evidente, pois a falta de resposta a sons de fraca intensidade reflete no desenvolvimento da linguagem. As primeiras palavras podem surgir, mas o descompasso entre o desenvolvimento da linguagem e a idade cronológica mostra para os pais o prejuízo de não usar a amplificação.

Nesse sentido, o SII pode ser usado para explicar e ilustrar a deficiência de audição do bebê durante o início do processo de seleção e indicação dos AASI, para que os pais possam compreender as consequências da perda auditiva e as limitações da amplificação para o desenvolvimento de linguagem, em cada caso e, assim, aderir ao uso da amplificação com consistência, desde os primeiros meses do processo de intervenção fonoaudiológica.

Usar o audiograma com a classificação tradicional da perda auditiva - grau leve, moderado - na orientação sobre a perda auditiva faz, consistentemente, que os pais subestimem o impacto da perda auditiva para o desenvolvimento de linguagem de seu filho<sup>(24)</sup>, o que demonstra a importância dos cuidados e da sensibilidade que o fonoaudiólogo deve ter ao transmitir para os pais as questões sobre a perda auditiva.

Buscar maneiras de orientação que facilitem a explicação pelo profissional e o entendimento dos pais sobre a relação entre a audição e o desenvolvimento de linguagem é de grande valia no início do processo terapêutico e contribui para adesão do uso da amplificação<sup>(25)</sup>.

## CONCLUSÃO

Com a alteração do nível de pressão sonora do sinal de entrada, os valores de SII mudam e os sujeitos dos grupos se deslocam entre os intervalos estabelecidos a partir do SII65. Menores níveis de pressão sonora do estímulo de fala produzem menores índices de inteligibilidade de fala. Essa diferença é mais acentuada nos deficientes auditivos, que apresentam valores de SII65 entre 36% e 55%.

## REFERÊNCIAS

- Tomblin JB, Harrison M, Ambrose SE, Walker EA, Oleson JJ, Moeller MP. Language outcomes in young children with mild to severe hearing loss. *Ear Hear.* 2015;36(Supl 1):76S-91S. <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0000000000000219>. PMID:26731161.
- Moeller MP, Tomblin JB. Epilogue: conclusions and Implications for research and practice. *Ear Hear.* 2015;36(Supl 1):92S-8S. <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0000000000000214>. PMID:26731162.
- Daub O, Bagatto MP, Johnson AM, Cardy JO. Language outcomes in children who are deaf and hard of hearing: the role of language ability before hearing aid intervention. *J Speech Lang Hear Res.* 2017;60(11):3310-20. [http://dx.doi.org/10.1044/2017\\_JSLHR-L-16-0222](http://dx.doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-16-0222). PMID:29086796.
- Novaes BCAC, Versolato-Cavanaugh MC, Figueiredo RSL, Mendes BCA. Determinants of communication skills development in children with hearing impairment. *J Soc Bras Fonoaudiol.* 2012;24(4):335-41. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-64912012000400008>. PMID:23306683.
- Walker E, Holte L, McCreery RW, Spratford M, Page T, Moeller MP. The influence of hearing use on outcomes of children with mild hearing loss. *J Speech Lang Hear Res.* 2015;24(2):1-14. PMID:26151927.
- McCreery RW, Walker EA, Spratford M, Bentler R, Holte L, Roush P, Oleson J, Van Buren J, Moeller MP. Longitudinal predictors of aided speech audibility in infants and children. *Ear Hear.* 2015;36(Supl 1):24S-37S. <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0000000000000211>. PMID:26731156.
- ANSI: American National Standards Institute. Methods for calculation of speech intelligibility index. Washington: ANSI; 2012.
- Bagatto M, Moodie ST, Brown C, Malandrino A, Richert F, Clench D, Scollie SD. Prescribing and verifying hearing aids applying the American Academy of Audiology pediatric amplification guideline: protocols and outcomes from the Ontario infant hearing Program. *J Am Acad Audiol.* 2016;27(3):188-203. <http://dx.doi.org/10.3766/jaaa.15051>. PMID:26967361.
- Mendes BCA, Barzaghi L. Percepção e produção da fala e deficiência auditiva. In: Bevilacqua MC, Martinez MAN, Balen SA, Pupo AC, Reis ACMB, Frota S, editores. Tratado de audiologia. Santos: Santos Editora; 2011. p. 653-70.
- Kane MOL, Howard-Robinson S, Tamparong CL. Classroom strategies for early learners with cochlear implants. In: Niparko JK, editor. Cochlear implants: principles & practices. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2009. p. 32-34.
- Martin RL, Asp CW. Measuring conversational distance. *Hear J.* 2012;65(8):8-9. <http://dx.doi.org/10.1097/01.HJ.0000415187.11161.5d>.
- Figueiredo RS, Mendes B, Cavanaugh MC, Novaes B. Classificação de perdas auditivas por grau e configuração e relações com Índice de Inteligibilidade de Fala (SII) amplificado. *CoDAS.* 2016;28(6):687-96. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1782/20162015228>. PMID:27982251.
- Scollie S. DSL version v5.0: description and early results in children [Internet]. *Audiology Online*; 2007. 34 p. [citado em 2016 Julho 20]. Disponível em: [http://www.audiologyonline.com/articles/pf\\_article\\_detail.asp?article\\_id=1753](http://www.audiologyonline.com/articles/pf_article_detail.asp?article_id=1753)
- Neter J, Kuther M, Nachtsheim C, Li W. Applied linear statistical models. 5th ed. Chicago: Irwin; 2005.
- WHO: World Health Organization. Grades of hearing impairment [Internet]. Genebra: WHO; 2007. [citado em 2016 Julho 20]. Disponível em: [http://www.who.int/pbd/deafness/hearing\\_impairment\\_grades/en/](http://www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/)



16. Campos CAH, Russo ICP, de Almeida K. Indicação, seleção e adaptação de próteses auditivas: princípios gerais. In: Almeida K, Iorio MCM, editores. *Próteses auditivas: fundamentos teóricos e aplicações clínicas*. 2. ed. São Paulo: Lovise; 2003. p. 35-54.
17. Schaub A. *Digital hearing aids*. New York: Thieme; 2008. 188 p.
18. Hogan CA, Turner CW. High-frequency audibility: benefits for hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am*. 1998;104(1):432-41. <http://dx.doi.org/10.1121/1.423247>. PMID:9670535.
19. Ching TYC, Dillon H, Byrne D. Speech recognition of hearing-impaired listeners: predictions from audibility and the limited role of high-frequency amplification. *J Acoust Soc Am*. 1998;103(2):1128-40. <http://dx.doi.org/10.1121/1.421224>. PMID:9479766.
20. Ching TYC, Dillon H, Katsch R, Byrne D. Maximizing effective audibility in hearing aid fitting. *Ear Hear*. 2001;22(3):212-24. <http://dx.doi.org/10.1097/00003446-200106000-00005>. PMID:11409857.
21. Ching TYC. Effective amplification for hearing-impaired children. *Hear J*. 2002;55(4):10-8. <http://dx.doi.org/10.1097/01.HJ.0000293355.33711.63>.
22. Gustafson SJ, Pittman AL. Sentence perception in listening conditions having similar speech intelligibility indices. *Int J Audiol*. 2011;50(1):34-40. <http://dx.doi.org/10.3109/14992027.2010.521198>. PMID:21047291.
23. Bass-Ringdahl SM. The relationship of audibility and the development of canonical babbling in young children with hearing impairment. *J Deaf Stud Deaf Educ*. 2010;15(3):287-310. <http://dx.doi.org/10.1093/deafed/enq013>. PMID:20457674.
24. Haggard RS, Primus MA. Parental perceptions of hearing loss classification in children. *Am J Audiol*. 1999;8(2):83-92. [http://dx.doi.org/10.1044/1059-0889\(1999\)014](http://dx.doi.org/10.1044/1059-0889(1999)014). PMID:10646191.
25. Moeller MP, Hoover B, Peterson B, Stelmachowicz P. Consistency of hearing aid use in infants with early-identified hearing loss. *Am J Audiol*. 2009;18(1):14-23. [http://dx.doi.org/10.1044/1059-0889\(2008\)08-0010](http://dx.doi.org/10.1044/1059-0889(2008)08-0010). PMID:19029531.