

Ягунова Е.В. Исследование перцептивной устойчивости фонем как элементов речевой цепи // Человек говорящий: исследования XXI века: колл. монография под ред. Л.А.Вербицкой, Н.К. Ивановой. Иваново, 2012, с. 67-75

Е.В.Ягунова (СПбГУ)

Исследование перцептивной устойчивости фонем как элементов речевой цепи

An analysis of perceptual confusions among Russian consonants taken from a continuous spoken text

В статье представлены результаты экспериментальных исследований перцептивной устойчивости элементов речевой цепи (текста). Обобщаются результаты двух разных типов экспериментов с информантами: (1) серии по распознаванию изолированно предъявляемых открытых слогов, которые были вырезаны из связного текста (Фонетически представительного текста) и (2) по распознаванию бессмысленного текста (Лингвистической сказочки Л.Петрушевской). В основу экспериментов положены идеи о неоднородности речевой цепи. Методика анализа основывалась на построении и анализе матриц замен для согласных фонем.

звучащая речь, восприятие, связный текст, согласные фонемы, матрицы замен

This paper reports on the experiments where Ss. were presented with two kinds of stimuli, viz.: isolated CV-type syllables extracted from a spoken text and the same syllables embedded in Ludmila Petrushevskaya's meaningless "tale". The results organized in the familiar confusions matrices served to verify a hypothesis according to which the local phonetic context influence dramatically the recognizability of consonants.

Spoken text, speech perception, consonants, sound confusions matrices

0. Введение

При исследовании распознавания речи одной из наиболее актуальных проблем является борьба с вариативностью и неоднородностью речевого сигнала. Для решения этой проблемы необходимо определить систему перцептивной устойчивости признаков (например, дифференциальных признаков фонем) и иерархию перцептивной устойчивости классов фонем.

В 1974 году была опубликована статья Л.Р. Зиндера и его учеников, в которой рассматривался вопрос о неоднородности речевой цепи [Бондарко и др. 1974]. Практически для любого текста верно то, что лишь часть его сегментов характеризуется полным типом произнесения и, по крайней мере, **может** интерпретироваться за счет анализа фонетических признаков этого сегмента, другая же часть принадлежит неполному типу и может интерпретироваться лишь на основании внефонетической информации; сегменты неполного типа произнесения реконструируются **после**

интерпретации более крупной структурной единицы, чем слог (фонема) – прежде всего, в результате идентификации слова. По-видимому, особую актуальность рассматриваемый вопрос имеет для русского звучащего текста с его ярко выраженной сегментной редукцией. В случае учета принципиальной неоднородности речевой цепи вопросы о системе перцептивной устойчивости признаков и об иерархии перцептивной устойчивости классов фонем особенно значимы. Наиболее информативны и устойчивы в речевой цепи согласные фонемы, поэтому в данной статье ограничимся анализом перцептивной устойчивости согласных.

1. Использование метода анализа матриц замен

Имеющиеся по этому вопросу работы можно разделить на две группы, в зависимости от используемого подхода. К первой группе можно отнести все те работы, в которых система (набор) признаков фонем признается уже существующей, не подлежащей изменению, а основным предметом исследования является определение их относительной значимости для носителей того или иного языка. В результате подобных исследований мы знаем, что 1) различие в опознании разных признаков оказывается весьма существенным, 2) что относительную значимость признаков можно рассматривать как некую функцию от контекста [Ahmed & Agrawal, 1969] и «помех» (напр., уровня и вида шума или способа фильтрации сигнала) [Miller & Nicely, 1955], 3) что, чем по большему числу признаков различаются согласные, тем в целом меньше вероятность их смешения [Graham & House, 1971].

Второй подход не предполагает наличие исходной системы признаков, он представлен работами, в которых или ведется сравнение нескольких альтернативных систем признаков, или система (набор) перцептивных признаков определяется эмпирически на основе использования метода многомерного шкалирования. Примером первого рода работ может служить подход Викельгрена [Wickelgren, 1966], рассматривающего три системы (Миллер и Найсли, Налле и свою систему); предполагается, что эти системы могут описать представление согласных в кратковременной памяти человека. Полс, а также Сингх и другие используют статистический анализ (ALSCAL и TUCALS или MD-SCAL анализ) для оценки возможностей некоторых систем признаков для получения информации о пространственной ориентации стимулов [Pols, 1983; Singh, Woods & Becker, 1973].

Наиболее актуальными – для данной работы – выводами исследований первого типа являются следующие:

1) для опознания согласных в составе бессмысленных последовательностей очень большое значение имеет контекст (особенно положение по отношению к гласному), возможно, даже большее, чем языковая принадлежность материала и испытуемых;

2) в составе стимулов типа СГ наиболее устойчивыми являются признаки участия голоса и назальности, в наибольшей степени подверженным изменению оказывается признак места образования.

Второй подход многообещающий, однако из-за существенной неравномерности встречаемости каждой из согласных фонем его технически сложно реализовать в нашей работе (подробнее см. п.2)

Мы анализировали разборчивость согласных по следующим пяти дифференциальным признакам:

- твердость - мягкость;
- глухость - звонкость;
- шумность - сонорность;
- способ образования - взрывной, щелевой,
- аффриката, дрожащий;
- место образования - губной, переднеязычный;
- среднеязычный и заднеязычный.

Наибольший интерес вызвали признаки глухость-звонкость и шумность-сонорность.

2. Анализ перцептивной устойчивости согласных в русской речи

2.1. Анализ перцептивной устойчивости согласных на основании экспериментов по прослушиванию изолированно предъявляемых слогов

В экспериментах по прослушиванию изолированно предъявляемых слогов слоги были вырезаны из связного текста (Фонетически представительного текста, созданного на кафедре фонетики и преподавания иностранных языков СПбГУ [Степанова, 1988]). Рассматриваемый в нашей работе материал – всевозможные открытые слоги типа СГ, ССГ и даже СССГ, на которые непересекающимся образом разбит связный текст – представляет большую сложность для «традиционного» анализа с помощью построения матриц замен. Прежде всего, эта сложность заключается в том, что по сути дела мы не представляем, как «должен» восприниматься аудитором весь предлагаемый для прослушивания материал. В качестве своего рода «помехи» использовалось изолированное прослушивание сегментов, произнесенных в составе слитного текста. Этот вид «помех» предполагает неравномерное распределение встречаемости каждой из согласных фонем в каждой из серий (таблиц) эксперимента. В состав одной экспериментальной серии входят слоги одного типа (с точки зрения положения по отношению к ударению и наличия одного/более одного согласного в слоге) из текста, прочитанного одним диктором.

В каждой экспериментальной серии слоги были рандомизированы, каждый стимул в блоке повторялся три раза через 1.5 с. В каждой серии участвовало по 20 испытуемых (студенты и аспиранты кафедры Фонетики и методики преподавания иностранных языков СПбГУ, сотрудники Лаборатории физиологии речи Института физиологии им. И.П.Павлова); им было предложено записать фонемный состав услышанных слогов, вырезанных из связного текста (испытуемые пользовались удобным для них алфавитом, в случае затруднений ставился прочерк).

В целом признак глухости-звонкости обладает наилучшей распознаваемостью как для слогов типа СГ, так и для слогов типа ССГ (наряду с признаком шумности-сонорности для последних). Интересно заметить, что не для всех дикторов характерно озвончение (с точки зрения восприятия).

Опознание глухих согласных как звонких в слогах типа СГ объясняется наибольшим озвончением согласного в интервокальном положении. Считается, что степень озвончения глухого в его начальной фазе зависит от ударности-безударности предшествующего слога: в положении после ударного гласного следующий глухой согласный имеет более длительную озвонченную фазу, чем в положении после безударного гласного.

На нашем материале влияние предшествующего ударного слога оказывается значимым. Как для слогов типа СГ, так и для слогов типа ССГ характерно, что /р/ в наибольшей степени и наиболее регулярно подвергается озвончению.

Интересно, что для этого дифференциального признака мы можем говорить о противопоставлении фонетической и фонологической точек зрения. Фонетически звонкость согласного может быть охарактеризована как наложение голоса на прочие признаки глухого согласного, что дает основание считать оппозицию «глухой – звонкий» привативной. Фонетически же глухие и звонкие можно рассматривать как различающиеся по степени шума, тогда получается не привативное, а градуальное противопоставление. Характеристики конечной фазы глухих согласных в положении перед гласным зависят от ударности – безударности слога, в котором находится согласный. Так, конечная фаза озвончается лишь в безударном слоге, причем степень озвончения тем больше, чем больше степень редукции безударного слога [Бондарко и др., 1966, с.62-63; Бондарко, 1967, с.39].

Таблица 1. Число отказов в ответах испытуемых на классы глухих и звонких согласных (по матрицам замен (Ягунова 1994)) (%)

класс согласных	позиция в слоге и по отношению к ударению	Диктор Щ.			Диктор Тр.			Диктор К.		
		СГ	ССГ	ССГ	СГ	ССГ	ССГ	СГ	ССГ	ССГ
глухие	ударные	0,7	0,0	5,9	3,0	0,0	7,5	0,1	0,0	5,7
	предударные	0,7	0	15	2,7	0,2	8,2	0,1	0,0	14
	заударные	0,6	0,15	15	6,7	0,0	8,2	0,5	0,16	13
звонкие	ударные	4,1	0,24	24	4,0	1,0	9,0	5,0	0,06	23
	предударные	2,0	1,9	34	2,5	0,8	20	6,6	1,76	27
	заударные	4,0	2,1	39	8,3	3,4	9,1	11,6	3,57	13

Обобщенное представление о степени устойчивости глухих и звонких шумных фонем дает появление отказов (пропусков) в ответах испытуемых (см. табл. 1).

Признак глухости-звонкости, вообще говоря, можно рассматривать и в триаде: глухие – звонкие шумные – сонанты. Традиционно считается, что сонанты обладают наименьшей длительностью среди всех согласных и

оказываются наименее устойчивыми по длительности, например, при изменении темпа речи, особенно плавные сонанты. Фонетическое положение является существенным фактором при определении фонетических свойств сонантов, особенно опять же плавных: консонантные признаки наиболее ярко представлены в сочетании «согласный+гласный», а вокалические признаки характеризуют интервокальные сонанты.

На нашем материале большинство сонантов реализуется как интервокальные, а предъявляются в сочетании СГ, CV; в целом

1) распознаваемость сонантов выше ожидаемой (несмотря на искажение контекста при предъявлении в составе открытых слогов);

2) не для всех дикторов носовые сонанты опознаются лучше, чем плавные, что абсолютно не согласуется с положением о том, что плавные в большей степени подвержены редукции, чем носовые;

3) в заударных слогах у всех дикторов хуже всего опознаются /v/ и /v'/.

Для начального согласного в составе слога типа ССГ характерно очень низкое опознание признака согласности; даже если признак согласности был правильно опознан, зачастую не опознается признак сонорности.

Увеличение перцептивной устойчивости прослеживается в направлении сонорные → шумные, а при разбиении шумных согласных на подклассы: сонорные → шумные глухие → глухие взрывные. Рассматривалась степень неустойчивости шумных и сонорных согласных в зависимости от диктора, позиции по отношению к ударению (ударные, предударные, заударные) и позиции в слоге (слоги типа СГ, первый от гласного согласный в слоге ССГ, второй (и третий) от гласного согласный в слоге ССГ). Обобщенное представление о неустойчивости фонем дает появление отказов (пропусков) в ответах испытуемых (см. табл. 2).

Таблица 2. Число отказов в ответах испытуемых на классы шумных и сонорных согласных (по матрицам замен (Ягунова 1994)) (%)

класс согласных	позиция в слоге и по отношению к ударению	Диктор Щ.			Диктор Тр.			Диктор К.		
		СГ	ССГ	ССГ	СГ	ССГ	ССГ	СГ	ССГ	ССГ
шумные	ударные	1,6	0,19	8,2	3,3	0,74	7,5	1,5	0,08	7,6
	предударные	0,7	0	16	2,3	0,11	13	1,2	1,3	17
	заударные	1,7	0,24	15	7,1	1,2	7	4,0	0,74	13
сонорные	ударные	4,1	0,17	29	4,7	0,78	11	7,2	0	31
	предударные	3,0	0,1	23	3,0	1,2	20	9,2	1,3	33
	заударные	4,0	2,1	39	8,6	2,6	11	12,6	3,9	14

2.2. Анализ перцептивной устойчивости согласных на основании эксперимента по распознаванию художественного бессмысленного текста

В предыдущем пункте перцептивная устойчивость согласных – как характеристика связного текста – оценивалась при предъявлении изолированных слогов. Именно это рассматривалось как помеха; естественно,

помеха существенно искажала как процедуры обработки информации слушающим, так и акустические характеристики стимула (изменение контекста). Впрочем, акустические характеристики были тщательно выверены в ходе инструментального анализа.

В этом пункте рассматриваются данные эксперимента по восприятию связного текста. В качестве помехи выступает отсутствие явного смысла, основными единицами являются псевдослова при сохранении морфологических и синтаксических характеристик; текст имеет четкую композиционную структуру [Ягунова 2011].

В качестве основного материала исследования нами был выбран роман «Бурлак» (часть II) Л. Петрушевской:

Помик волит:

— *Калуша, а калушаточки помиковичи?*

Калуша разбызила клямсы и волит зюмо-зюмо:

— *Куа?*

Помик тырскнул в бурдысья и из бурдысьев волит:

— *Калуша, а калушаточки помиковичи?*

А Калуша как заволит:

— *Некузяво, ое, некузяво так волить!*

А Помик в бурдысьях как забурлыкает: бурлы, бурлы, бурлы.

А Калуша волит:

— *Не бурлыкай, бурлак. Калушаточки не помиковичи, а помиковны.*

Это эмоционально насыщенный сюжетный текст с большим количеством диалогов — общим объемом 54 словоупотребления (40 фонетических слов, 132 слога). Сюжетная структура текста передается традиционной композицией нарратива: прамбула, завязывание сюжета, развитие сюжета и развязка.

Текст был прочитан опытным диктором.

В разных сериях эксперимента принимали участие разные информанты, носители русского языка (главным образом, студенты гуманитарных специальностей), не являющиеся опытными аудиторами и прежде не читавшие этот текст. Испытуемых предупреждали о том, что текст содержит псевдослова (не являющиеся словами русского языка).

В эксперименте по восприятию звучащего текста испытуемым предлагалось прослушать магнитофонную запись текста удобными порциями, останавливая прослушивание с помощью клавиши «пауза» и записывая каждый следующий услышанный фрагмент с новой строки, начинающейся с символа «звездочка». Текст можно было слушать один раз, не возвращаясь назад. В словах требовалось проставить ударение. В эксперименте приняло участие 30 информантов.

Средняя словесная разборчивость составляет 44 %, что является довольно высоким показателем, учитывая асемантическую природу текста и отсутствие опыта у испытуемых (ср. результаты по искусственно сконструированным асемантическим текстам [Ягунова 2009]). Если рассматривать в качестве основной единицы фонетическое слово, то доля слов, распознанных не менее

чем в 50 % случаев, составляет 0,35, для лексико-грамматических слов величиной не менее слога эта доля возрастает до 0,44. Доля слов, распознанных не менее чем в 40 %, составляет более 50 % от всех слов (0,55 и 0,60 для фонетических и лексико-грамматических слов соответственно).

По результатам эксперимента были выделены опорные слова (распознающихся не менее 40% информантов), ниже представлено распределение опорных слов в тексте. В терминах гештальт-психологии опорные слова можно рассматривать как фигуры (в схеме 1 выделены п/ж шрифтом), а неопорные слова (распознающихся менее 40% информантов) – как фон (каждое неопорное фонетическое слово заменено прочерком). Иначе говоря, опорные слова можно условно соотнести с предположительно полным типом произнесения, а неопорные – с неполным типом произнесения по [Бондарко и др. 1974].

Схема 1.¹

_____ (/):
 — **Калуша (///), а калушаточки (/) _____ ? (//)**
Калуша (/) _____ клямсы (\\) _____ зюмо-зюмо (//):
 — _____ ? (///)
 _____ (\\) _____ (\\) _____ (/):
 — **Калуша (\\), а калушаточки (//) _____ ? (//)**
А Калуша как _____ (\\):
 — **Некузяво (//), _____, некузяво (//) так (///) воить! (///)**
_____ как (/) забурлыкает (\\): бурлы (\\), бурлы (\\), бурлы. (\\)
А Калуша воит:
 — **Не бурлыкай, (\\) бурлак. Калушаточки (/) _____, (/) а помиковны. (//)**

Условность соотнесения опорных слов с полным типом (т.е. возможностью фонемной интерпретации на основании анализа фонетических признаков этого сегмента) связана с тем, что слушающий может извлекать смысл из предъявляемого текста и опираться на контекст. В то же время именно эти характеристики делают текст связным и цельным.

В таблице 3 представлена матрица замен согласных фонем для набора опорных слов, в ней представлены реализации согласных в разных позициях по отношению к ударению. Ограничение материала вызвано прицельным вниманием именно к реализациям и восприятию опорных слов. Матрица приводится в усеченном варианте: представлены только те фонемы, которые были в опорных словах (столбец) и в анкетах информантов (строка).

Таблица 3. Матрица замен согласных фонем для набора опорных слов

	<u>p</u>	<u>t</u>	<u>t'</u>	<u>k</u>	<u>b</u>	<u>d</u>	<u>d'</u>	<u>g</u>	<u>s</u>	<u>s'</u>	<u>s^</u>	<u>s^:'</u>	<u>c^</u>
<u>p</u>	63%	1%		<u>2%</u>	<u>1%</u>	<u>23%</u>		-	<u>1%</u>				-
<u>t</u>	1%	82%		-				<u>1%</u>		<u>1%</u>		<u>1%</u>	<u>12%</u>
<u>t'</u>		<u>4%</u>	85%	-				-					-
<u>k</u>	1%	<u>7%</u>	-	84%	-	-	-	<u>1%</u>	-	-	-	-	-

¹ Условные обозначения: (/) – повышение ЧОТ не менее чем на 25 Гц, (//) – повышение ЧОТ от 50 до 150 Гц, (///) – повышение ЧОТ более чем 150 Гц, аналогичные обозначения для понижения ЧОТ

	<u>p</u>	<u>t</u>	<u>t'</u>	<u>k</u>	<u>b</u>	<u>d</u>	<u>d'</u>	<u>g</u>	<u>s</u>	<u>s'</u>	<u>s^</u>	<u>s^:'</u>	<u>c^</u>
<u>b</u>	-	1%	-	-	96%	1%	-	-	-	-	-	-	-
<u>s</u>				4%					69%				
<u>s^</u>		1%	1%	-							94%		1%
<u>c^</u>	-	-	-	1%	-	-	-	1%	-	-	-	-	77%
<u>v</u>		1%		1%	1%						1%		
<u>z</u>				-					1%				
<u>z'</u>	-	-	-	-	-	2%	-	-	2%	-	-	-	-
<u>m</u>				-		1%							
<u>n</u>	2%	2%		-									
<u>l</u>				-									
<u>l'</u>				-			4%						
<u>r</u>				-									
<u>i</u>				-									
-	66%	98%	86%	92%	97%	27%	4%	2%	73%	1%	95%	1%	90%

Таблица 3. Матрица замен согласных фонем для набора опорных слов
(продолжение)²

	<u>v</u>	<u>v'</u>	<u>z</u>	<u>z'</u>	<u>m</u>	<u>m'</u>	<u>n</u>	<u>n'</u>	<u>l</u>	<u>l'</u>	<u>r</u>	<u>r'</u>	<u>i</u>	NR
<u>p</u>				-		1%	5%	2%			1%			2%
<u>t</u>				-			2%	-						3%
<u>t'</u>				-			-	-						12%
<u>k</u>	-	-	-	-	-	-	1%	-	-	-	-	-	-	6%
<u>b</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1%
<u>s</u>			8%	4%			4%	-						12%
<u>s^</u>				-			-	-						2%
<u>c^</u>	-	-	-	-	-	-	1%	-	-	-	-	-	-	19%
<u>v</u>	91%	1%		-			1%	-	2%				2%	2%
<u>z</u>	1%		93%	-										5%
<u>z'</u>	-	-	8%	72%	-	-	-	-	2%	2%	-	-	-	13%
<u>m</u>	4%			-	77%	2%	5%	-	3%				3%	6%
<u>n</u>				-	1%		87%	-	2%				-	6%
<u>l</u>	1%			-	3%		2%	2%	83%	0%	3%		2%	2%
<u>l'</u>				-			-			91%		2%	2%	2%
<u>r</u>				-			-				98%			2%
<u>i</u>				-			-						88%	12%
-	97%	1%	109%	76%	80%	2%	106%	4%	92%	93%	102%	2%	98%	106%

Для большинства согласных фонем фонемное качество восстанавливается хорошо: правильное опознание более 70%. Худшая опознаваемость характеризует /p/ (63%), основная замена идет по озвончению и усилению (превращению в /d/ с изменением места образования). В большинстве случаев правильное опознание понижается за счет предсказуемых замен по твердости-мягкости или по глухости-звонкости: например, /s/ (68%) → /z/ (8%), /z/ (72%) → /z'/ (8%). Таким образом, фонемное качество – как минимум – не препятствует опорности слов (исходно бессмысленных слов), а скорее обеспечивает и поддерживает.

3. Вместо заключения

² Условное обозначение: NR – отказ

Статья Л.Р. Зиндера и его учеников о неоднородности речевой цепи, о разделении в речевой цепи сегментов полного и неполного типа произнесения [Бондарко и др. 1974] поставила перед исследователями множество вопросов, но главное – она дала направление для плодотворной работы.

Исследование неоднородности не просто речевой цепи, а связного звучащего текста, исследование перцептивной устойчивости согласных фонем как одних из наиболее информативных элементов звучащего текста требует применения разных методик. Анализ матриц замен – многотрудное дело (скажем, по сравнению наиболее частых ошибок), но результаты такого анализа позволяют получить гораздо более полные данные.

Первое, чему меня, студентку четвертого курса матлингвистики, стали учить Лия Васильевна Бондарко и Алла Соломоновна Штерн, это методика анализа матриц замен. Одним из самых важных моментов был день, когда Лия Васильевна очень доходчиво мне объяснила, что написание программ обработки данных, вообще технологические вопросы – это лишь методика, главное для лингвиста – интерпретация, объяснение. Конечно, если ты лингвист по призванию. Не бывает года, чтобы я не пыталась передать это указание по цепочке своим студентам. И, наконец, для меня увлечение лингвистикой звучащего текста – это тоже, прежде всего, заслуга Лии Васильевны. Думаю, что самым большим подарком нашим учителям было бы, чтобы цепочка, передающая опыт, знания, жизненную мудрость наших учителей не прерывалась, передавалась студентам, аспирантам и просто молодым сотрудникам.

Литература

Бондарко Л.В. Структура слога и характеристики фонем // Вопр. языкознания. - 1967. - № 1. - С. 34-46.

Бондарко Л.В., Зиндер Л.Р., Павлова Л.П. Различаемые звуковые типы русских согласных // Вопр. радиоэлектроники : Науч.-техн. сборник. Сер. Техника проводной связи. - 1967. - Вып. 5. - С. 102-117.

Бондарко Л. В., Вербицкая Л. А., Гордина Л. А. и др. Стили произношения и типы произнесения // Вопросы языкознания 1974. № 2. С. 64–70.

Степанова, С. Б. Фонетические свойства русской речи: реализация и транскрипция: дис. ... канд. филол. наук : 10.02.01 : защищена 17.12.88. – Л., 1988. – 245 с.

Ягунова Е. В. Вариативность стратегий восприятия звучащего текста (экспериментальное исследование на материале русскоязычных текстов разных функциональных стилей) / Пермь, 2008. — 395 с.

Ягунова Е. В. Где скрывается смысл бессмысленного текста? // Лингвистика без границ. К 70-летию В. Б. Касевича. Вербицкая Л. А., Богданов С. И., Клейнер Ю. А., Крылов С. А. (отв. ред.). СПб.: Филологический факультет Санкт-Петербургского университета, 2011, с.421-439

Ягунова, Е. В. Восприятие согласных фонем и их дифференциальных признаков (экспериментально-фонетическое исследование на материале

русского языка): дис. ... канд. филол. наук : 10.02.19 : защищена 21.04.94. – СПб., 1994. – С. 261

Ahmed, Rais & S.S. Agrawal “Significant Features in the Perception of (Hindi) Consonants.” *Journal of the Acoustical Society of America*, 1969, 45:3, p.758-763

Miller, George A. and Nicely, Patricia. An Analysis of Perceptual Confusions among some English Consonants, *J.Acoust.Soc.Am.* , 1955, 27:2, p.338-352.

Graham, L. W., & House, A.S. Phonological oppositions in children: A perceptual study, *J.Acoust.Soc.Am.*, 1971, 27:2, p.559-566

Wickelgren, W. A. Distinctive features and errors in short-term memory for English consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1966, 39, p.388–398.

Pols, Louis. Three mode principle component analysis of confusion matrices, based on the identification of Dutch consonants, under various conditions of noise and reverberation. *Speech Communication*, 1983, 2, p.275–293

Singh, Rajendra, David Woods & Gordon Becker. Perceptual structure of 22 prevocalic English consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1972, 52, p.1698–1713.