УДК 004.415.2

С.С. Харченко

Структура программного комплекса голосовой реабилитации больных после удаления гортани на основе бионических принципов

Рассматриваются процессы восприятия информации головным мозгом у здоровых людей и больных, перенесших удаление гортани, и разработка на их основе структуры программного комплекса для голосовой реабилитации. На основе рассмотренных процессов и созданной структуры описывается процесс голосовой реабилитации и проходящие информационные процессы, которые используют бионические принципы.

Ключевые слова: эвристическая модель, программа, генерация речи, головной мозг, псевдоголос, рак гортани.
doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-1-101-104

В России в программных и программно-аппаратных комплексах, использующих биологическую обратную связь в процессе реабилитации, на сегодняшний день, как правило, используются методы, преобразующие полученную информацию в статические зрительные образы [1, 2]. Данный подход не всегда имеет положительные результаты. Косвенно это связано с использованием только статических зрительных образов. Как показывают исследования в области аудиовизуального восприятия, при зрительном сигнале звук сокращает время реакции на 5–10% [3]. Этот результат демонстрирует возможность влияния звука на зрительное восприятие. Существующие на сегодняшний день программные комплексы, как правило, основаны на структуре, не позволяющей их использовать для широкого круга задач. Данная статья направлена на изучение возможности создания структуры, на основе которой возможно построение программных комплексов для использования в различных задачах с использованием биологической обратной связи.

Речевые функции головного мозга человека

Процесс восприятия и генерации речи человеком (рис. 1) можно представить как простой алгоритм [4]:

- шаг 1: собственная или сторонняя речь (любой другой звуковой сигнал) поступает через уши на барабанную перепонку;
- шаг 2: колебания барабанной перепонки преобразуются в звуковой сигнал и передаются посредством внутренних нервных связей в слуховую кору (которую можно считать частью центра Вернике);
- шаг 3: в центре Вернике полученный звуковой сигнал распознается в образы;
- шаг 4: на основе полученных образов в центре Вернике посредством ассоциативных центров формируются возвратные образы (что хочет сказать человек), если есть слуховой образ предмета;
- шаг 5: из сформированных возвратных образов в центре Брока формируется фонологическая и синтаксическая кодификация (обеспечивается согласованность звуков) и передается в моторную кору;

- шаг 6: моторная кора, основываясь на полученной информации, активирует губы, мышцы языка, артикуляционный аппарат и другие органы, участвующие в речесоборазовании.

Рис. 1. Взаимодействие центров мозга при восприятии и генерации речи

Центр Вернике чувствует не только при обработке звуковой информации, но также и при обработке зрительных образов. В случае распознавания зрительных образов алгоритм будет аналогичен алгоритму восприятия и генерации речи, за тем лишь исключением, что первичная информация будет считываться глазами человека и далее передаваться в зрительную кору (рис. 2).

Рис. 2. Взаимодействие центров мозга и органов чувств при обработке зрительной информации

Под зрительной информацией здесь стоит понимать как написанное слово, так и нарисованный образ. Таким образом, исходя из рассмотренных процессов распознавания/генерации речи и распознавания зрительных образов, выделим несколько свойств:

- центр Вернике служит для обработки поступающих сигналов с органов чувств как зрительных образов, так и звуковых сигналов;
- из центра Вернике в центр Брока информация передается по дугообразному пучку только в том случае, если известен слуховой/визуальный образ;
- при выходе из строя одного из центров мозга участвующих в распознавании и генерации речи, речь будет нарушена в разной степени в зависимости от локализации места поражения и от его сложности.

Рассмотрев взаимодействие органов чувств и центров головного мозга при восприятии и генерации речи и учитывая описанные выше свойства этих процессов, составим эвристическую модель процессов восприятия информации и генерации речи, используя нотацию Гейн-Сарсона (рис. 3).

Рис. 3. Эвристическая модель процессов восприятия информации и генерации речи

Речевые функции головного мозга пациента после удаления гортани

Согласно [5] у пациентов, перенесших операцию полного удаления гортани вследствие рака, наблюдается ряд изменений в процессе речеобразования, как анатомических, так и рефлекторных.

Среди анатомических изменений [6] выделяют следующие:

- отсутствие модулирующего органа речеобразования – гортани;
- физически отсутствует связь между легкими и речеобразующим трактом, так как трахея выводится на переднюю стенку горла через трахеостому, и служит теперь только для дыхания, не снабжая речеобразующий тракт воздухом.

Наиболее важными в рамках данной статьи являются рефлекторные изменения, так как они связаны непосредственно с работой центров головного мозга:

- на уровне непосредственного управления мышцами гортани центральная нервная система теряет все связи на уровне α -мотонейронов;
- на уровне центральной нервной системы разрывается речевой круг в центре Вернике;
- центр Брока не обладает более способами генерации речи.

На основании анатомических и рефлекторных причин выделяют основные следствия:

- потеря рефлекса фонации;
- полностью сохраняется рефлекс артикуляции, что показано в разработанной математической модели [6];
- центр Вернике не готов к фонации пищеводным голосом за счет отсутствия внутренней ассоциации признака звонкого звука и фонацией сужением пищевода.

Анатомические изменения, приведенные в [9], отражают рефлекторные изменения. Рассматривая полученную ранее эвристическую модель процессов восприятия информации и генерации речи и учитывая рефлекторные изменения в процессе речеобразования после удаления гортани можно перейти к новой модели восприятия-генерации и распознавания зрительных образов для пациентов, перенесших резекцию гортани (рис. 4)

Рис. 4. Эвристическая модель процессов восприятия-генерации речи и распознавания зрительных образов у пациентов после удаления гортани

Первое следствие о том, что на уровне центральной нервной системы разрывается речевой круг в центре Вернике, находит свое отражение в модели в том, что в хранилище образов просто нет образов тех звуков, которые пациент произносит на этапах тренировки. Второе следствие нарушения речевого круга, заключающееся в том, что центр Брока не обладает более способами генерации речи, сводится к тому, что из центра Вернике более не поступают возвратные образы в центр Брока, т.е. второе следствие возникает напрямую из первого.

Таким образом, отмечаем что достаточно важную роль в рассматриваемой эвристической модели играет хранилище образов, и наполнение его нужной информацией, достаточным количеством слуховых образов позволит пациенту воспринимать свою речь, что восстановит речевой круг. Также немаловажным является наполнение хранилища слуховых образов не только достаточным набором образов, но и чтобы эти образы были правильными, так как наполнение ложными слуховыми образами может привести к неправильной работе модели. Так, если на первых этапах голосовой реабилитации будут появляться нежелательные типы голоса, такие как, например, фарингиальный, при сохранении этих образов переучиться в дальнейшем будет уже практически невозможно.

Структура программного комплекса

Используя бионические принципы, на основе эвристической модели процессов восприятия информации и генерации речи опишем структуру программного комплекса голосовой реабилитации он-

кологических больных после резекции гортани (рис. 5).

Рис. 5. Структура программного комплекса на основе модели процессов восприятия информации и генерации речи

Каждый из структурных блоков программного комплекса соответствует органу, описанному в эвристической модели эвристической модели процессов восприятия информации и генерации речи. Проведем эти аналогии:

- устройства ввода – органы чувств;
- звуковая карта – слуховая кора;
- модуль вычисления параметров – центр Вернике;
- модуль интерпретации результатов – центр Брока;
- устройства вывода – моторная кора;
- положительное подкрепление – произносимые звуки.

Приведенные аналогии имеют место быть, так как выполняют схожие функции органы на уровне рефлексов, модули на уровне устройств и алгоритмов программного комплекса. Возвращаясь к нарушениям голосообразования, рассматриваемым в данном разделе, восстановив связь между центрами Вернике и Брока, можно способствовать восстановлению речи пациента. Предлагаемая структура про-

граммного комплекса позволит помочь центру Вернике интерпретировать произносимую речь не при помощи слуховых образов, которые были сформированы до нарушений, а при помощи посылки положительного подкрепления. Визуальная часть подкрепления пойдет через зрительную кору в центр Вернике, где, исходя из наборов зрительных образов, будет распознана как положительная. Звуковая часть подкрепления также будет воспринята центром Вернике, если набор звуковых подкреплений будет сформирован из знакомых ранее пациенту звуков.

Голосовая реабилитация больных после удаления гортани

Расширим рассмотренную ранее модель процессов восприятия-генерации речи и распознавания зрительных образов после удаления гортани и, добавив к ней воздействие модели программного комплекса, получим новую модель процесса голосовой реабилитации больных после удаления гортани (рис. 6). При таком построении взаимодействия пациента и программного комплекса мы избавляемся от нарушенных связей между центром Брока и Вернике, центром Вернике и хранилищем слуховых образов, так как теперь оперируем простыми слуховыми и зрительными образами, которые были известны ранее. Также такое построение взаимодействия является более естественным и соответствует обоснованному использованию аудиовизуальных положительных подкреплений [7]. Так как предложенная модель не противоречит модели для здоровых пациентов, представляется возможным ее использование и в других задачах, которые решаются при помощи методов, основанных на биологической обратной связи, заменив устройства ввода и устройство обработки полученных сигналов (в нашей модели это звуковая карта).

Рис. 6. Модель взаимодействия пациента и программного комплекса в процессе реабилитации

Предложенная модель позволяет не фокусироваться на конкретных методах обработки сигналов и устройствах, используемых в процессе реабилитации. Также в отличие от ранее используемых методов [8, 9] предлагается оправданное использование

аудиовизуальных подкреплений. Отметим, что согласно модели очень важным является составление набора зрительных и слуховых образов для подкреплений. Разделение модулей вычисления параметров и модуля интерпретации результатов позволяет

создавать на основе модели более сложные комплексы [10, 11].

Заключение

Рассмотрены речевые функции головного мозга и на их основе предложена эвристическая модель процессов восприятия информации и генерации речи. На основе предложенной модели составлена структура программного комплекса для проведения тренировок на основе биологической обратной связи. С учетом рефлекторных изменений больных после удаления гортани составлена модель взаимодействия пациента и программного комплекса в процессе голосовой реабилитации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-15-00038).

Литература

1. Балацкая Л.Н. Речевая реабилитация и качество жизни после хирургического лечения больных раком гортани // Сибирский онкологический журнал. – 2003. – № 2. – С. 54–57.
2. Балацкая Л.Н. Биологическая обратная связь в процессе голосовой реабилитации после удаления гортани / Л.Н. Балацкая, С.С. Харченко // Матер. докладов X Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – 2014. – Ч. 2. – С. 10–12.
3. Visuo-auditory interactions in the primary visual cortex of the behaving monkey: Electrophysiological evidence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bmcneurosci.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2202-9-79>, свободный (дата обращения: 24.03.2017).
4. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Наука, 2004. – С. 87–112.
5. Реабилитация больных опухолями головы и шеи / Е.Л. Чойнзонов, Л.Н. Балацкая, З.Д. Кицманюк и др. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 296 с.
6. Харченко С.С. Модель образования псевдоголоса в процессе фонации пищеводной речи // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 81–84.
7. Investigation of the Influence of the Positive Reinforcement Method using Biofeedback [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://medcraveonline.com/IJBSBE/IJBSBE-02-00020.pdf>, свободный (дата обращения: 24.03.2017).
8. Медико-технический комплекс для исследования речевого сигнала при нарушениях голосообразования / В.П. Бондаренко, Е.Ц. Чойнзонов, Л.Н. Балацкая и др. // Медицинская техника. – 2007. – № 4. – С. 11–13.
9. Программные средства комплекса исследования речевого сигнала при злокачественных заболеваниях гортани / В.П. Бондаренко, Е.Ц. Чойнзонов, Л.Н. Балацкая и др. // Медицинская техника. – 2009. – № 4. – С. 33–38.
10. Программный комплекс речевой реабилитации онкологических больных после резекции гортани / С.С. Харченко, Р.В. Мещеряков, Д.А. Вольф и др. // Медицинская техника. – 2016. – № 2. – С. 51–55.
11. Volf D. The singular estimation pitch tracker / D. Volf, R. Meshcheryakov, S. Kharchenko // Proceedings of the 17th International Conference on Speech and Computer, SPECOM 2015. – Greece, Athens, 2016. – PP. 454–462.

Харченко Сергей Сергеевич

М.н.с. каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем ТУСУРа
Тел.: +7-983-233-66-44
Эл. почта: ss.kharchenko@gmail.com

Kharchenko S.S.

Creating a structure of a software package for vocal rehabilitation of patients after larynx removal based on bionic principles

This article investigates the possibility of creating a structure for software packages to be used to solve various tasks based on biofeedback. Based on the reviewed processes and the structure created, the process of voice rehabilitation is presented.

Keywords: heuristic model of speech generation, brain, esophageal voice, larynx cancer.