

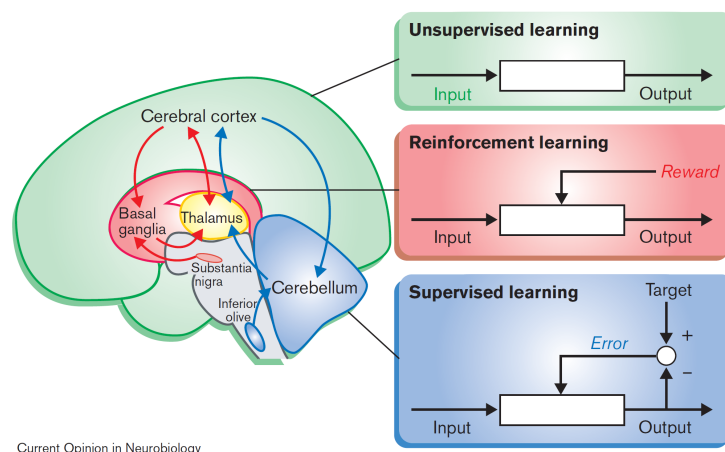
# Глава 1

## Концептуальные модели в нейрофизиологии

### 1.1 Типы обучения и подсистемы мозга

Основная задача реинжиниринга мозга - построить глобальную непротиворечивую модель мозга, основываясь на имеющихся в литературе данных и теориях [13]. Основными подсистемами мозга, осуществляющими обучение и контроль поведения, по имеющимся представлениям являются кора головного мозга (в частности, новая кора(неокортекс) и старая кора (аллокортекс), включающая гиппокамп), тесно связанная с таламусом, базальные ганглии и мозжечок. Каждая из этих подсистем мозга, предположительно, реализует свой тип обучения: обучение без учителя (таламо-кортикальная система), обучение с подкреплением (базальные ганглии) и обучение с учителем (мозжечок) [2] (рис. 1.1).

Перечисленный выше подсистемы мозга принимают совместное участие в различных контурах, управляющих нашим поведением [13] (рис. 1.2 и 1.3). Таламо-кортикальная система выявляет временные и пространственные паттерны в поступающих через органы чувств сигналах внешней среды. Моторная часть коры совместно с базальными ганглиями и таламусом вырабатывает ответную реакцию организма, соответствующую предыдущему опыту действия и текущей ситуации. Наконец, мозжечок выполняет многократно повторенные ранее действия, автоматизированные и практически не встречающие препятствий в своей реализации.



Current Opinion in Neurobiology

Рис. 1.1: Различные типа обучения, реализуемые мозжечком, базальными ганглиями и корой головного мозга (взято из [2])

Кора головного мозга делится на преобладающую у человека новую кору (неокортекс), состоящий из 5 слоев нервных клеток, и филогенетически более раннюю старую кору (палеокортекс и архикортекс), состоящую из 3–5 слоев. Все участки коры имеют тесные связи с таламусом [4] (рис. 1.4), что и объясняет их объединение в таламо-кортикальную систему. Пирамидальные клетки и их дендриты из второго и третьего слоя (L2/3) принимают сигналы от других участков коры (кортико-кортикальные связи). Нейроны четвертого слоя (L4) интегрируют информацию, получаемую от таламуса и других подкорковых структур, с информацией от разных участков коры. Пятый слой (L5) собирает полученную информацию и передает ее в подкорковые структуры (базальные ганглии) и через шестой слой - в таламус и другие участки коры. При этом нейроны L5 служат кодирующим слоем рекуррентной сети, текущее состояние которой поступает из слоя L2/3 и в слое L4 дополняется сжатым предыдущим состоянием (предисторией) от таламуса, который в свою очередь получил его с некоторой временной задержкой из выходных слоев L5 и L6.

В целом кора кодирует наблюдаемую ситуацию как устойчивое сочетание значений признаков с предсказанием того, что должно последовать за этой ситуацией. Значения признаков являются результатом возбуждения некоторой колонки (диаметр 300-500 мкм, количество нейронов

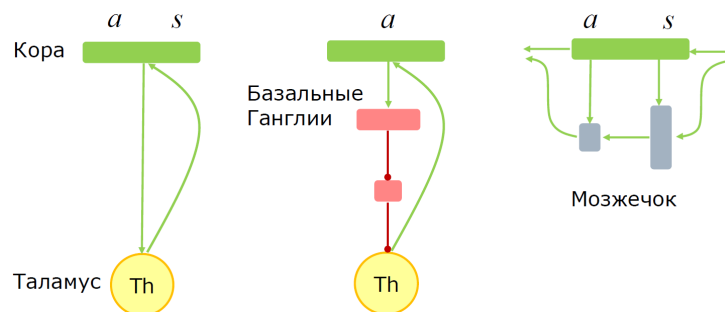


Рис. 1.2: Управляющие контуры в головном мозге,  $a, s$  - участки коры, ответственны за распознавание ситуации и выработку моторного действия, соответственно (взято из [13])

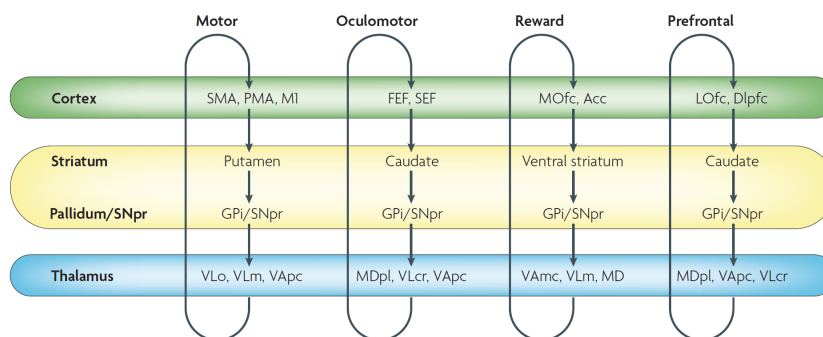


Рис. 1.3: Параллельные управляющие циклы, проходящие через кору, базальные ганглии и таламус (взято из [10])

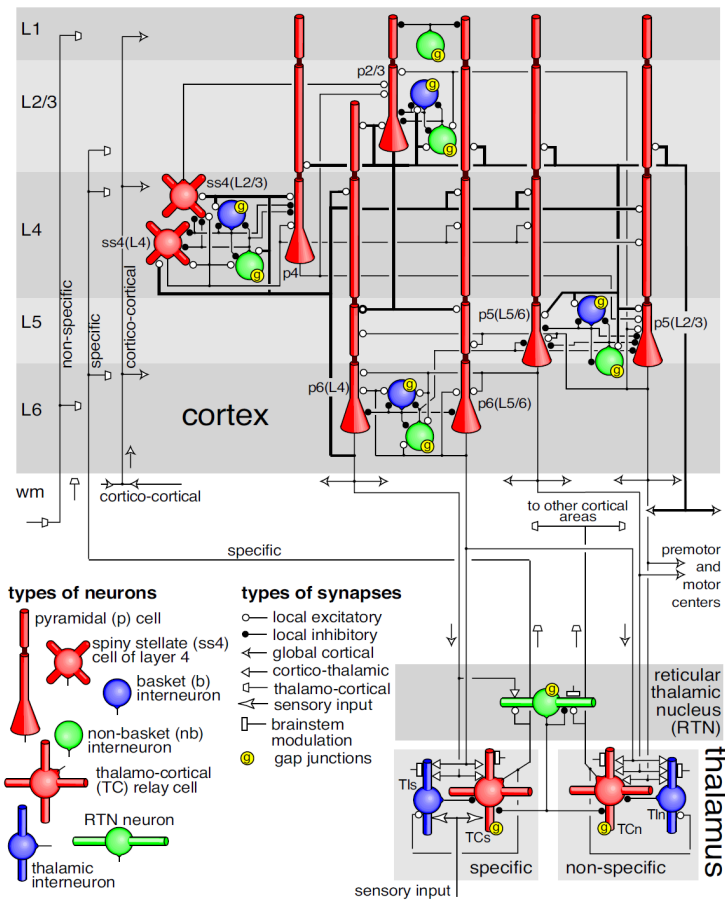


Рис. 1.4: Диаграмма нейронных цепей продольной структуры коры и таламических ядер (взято из [4])

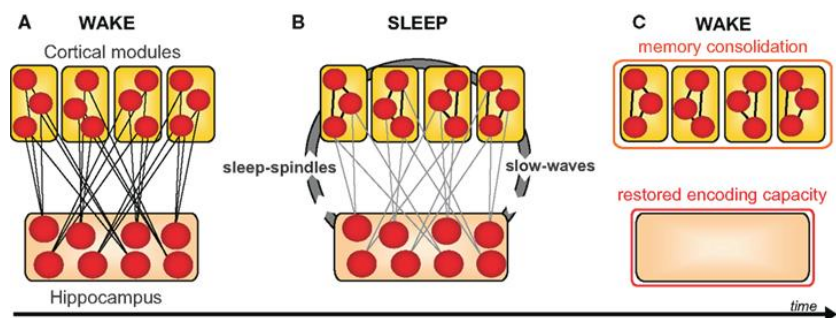


Рис. 1.5: Консолидация эпизодической памяти в кору головного мозга из гиппокампа (взято из [8])

$10^4$ ) в рамках группы локально конкурирующих колонок (гиперколонки - диаметром 2-3 мм). Всего в коре получается около  $10^5$  гиперколонок, т.е. кодируется до миллиона различных признаков. В отличие от новой коры, участки старой коры, в частности гиппокамп, могут кодировать только ассоциативные связи, а не типовые паттерны, подобно разреженной сети Хопфилда. Так как у человека входами гиппокампа являются выходы коры, то гиппокамп хранит в себе эпизодическую категориальную память, ограниченной емкости, которая затем в результате проигрывания во время сна, консолидируется корой (рис. 1.5).

Все участки коры образуют две тесно связанные друг с другом параллельные иерархии - сенсорную и моторную, в которых активация распространяется в противоположных направлениях. Предполагается, что вершиной сенсорной иерархии является гиппокамп, а корнем моторной - поясная извилина коры. В свою очередь гиппокамп и поясная извилина входят в состав лимбической подсистемы мозга, которая как раз и ответственная за выработку поведения с учетом эмоционально-потребностной сферы.

Моторная иерархия головного мозга, ассоциативно порождая возможные варианты действия, не обладает механизмом их отбора. Этот механизм реализован в базальных ганглиях (ядрах). Внешняя часть этой подсистемы мозга (полосатое тело или стриатум) получает информацию от V слоя клеток различных отделов коры, в первую очередь из моторной и лобной (см. 1.6 и 1.3). Часть сигналов кодирует оцениваемое действие, другая часть - текущую ситуацию. После полосатого тела сигнал поступает через бледный шар (паллидум) и черную субстанцию попадает в

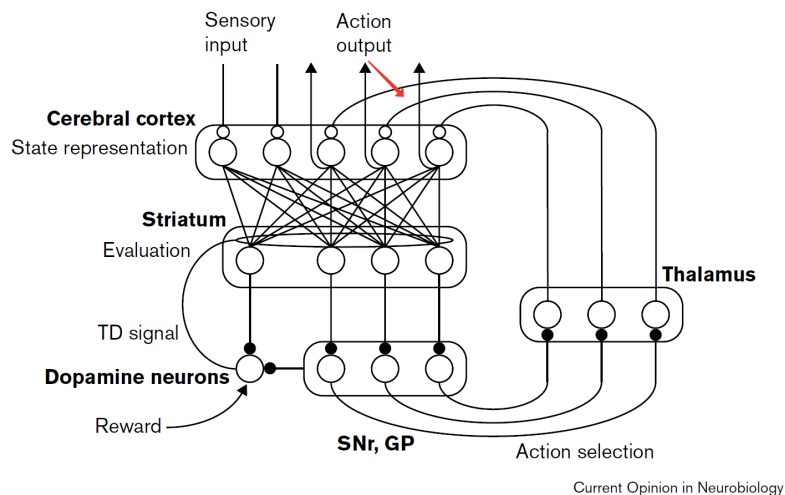


Рис. 1.6: Цикл, образуемый корой и базальными ганглиями и реализующий обучение с подкреплением (взято из [2])

таламус, который в свою очередь замыкает контур управления, отправляя сигнал обратно в те же отделы коры. Базальные ганглии производят отбор лучших (с точки зрения ожидаемой пользы) действий, предлагаемых корой, а управляющий контур через таламус оказывается для них открыт [3]. Обучение базальных ганглиев опирается на допаминовую систему черной субстанции и подкрепляющие сигналы от амигдалы (оценка приобретенного поведения) и гипоталамуса (оценка врожденного поведения). Базальные ядра через таламус могут растормаживать только небольшое количество участков коры, что означает что управление ими является высокоуровневым - конкретная реализация действия определяется иерархией моторной коры.

Базальные ядра оценивают действия на различных уровнях сенсорно-моторной параллельной иерархии (см. 1.7). Таким образом, две иерархии: восходящая (распознавание ситуации) и нисходящая (выработка поведения) - взаимодействуют за счет подкорковой подсистемы базальных ядер, действующей на различных временных и пространственных масштабах.

Наконец, третья подсистема мозга, представленная на рис. 1.1 - мозжечок, задача которого заключается в том, чтобы, обучаясь на выработанных корой и базальными ядрами ответах на стимулы, быстро реали-

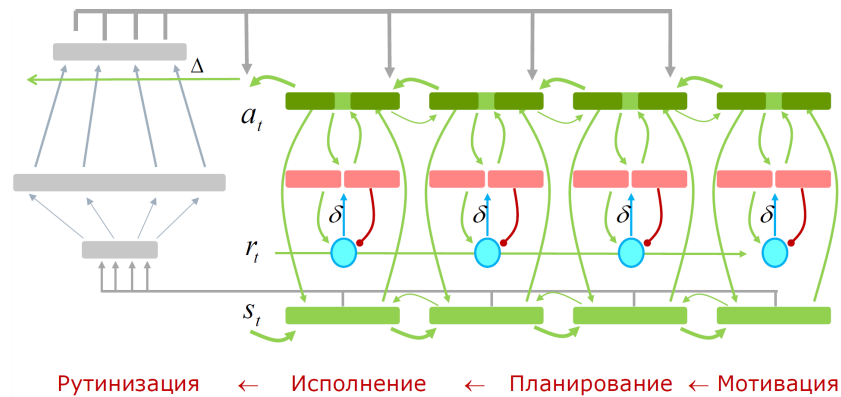


Рис. 1.7: Управляющие контуры в головном мозге (обучение с учителем - мозжечок (серые участки схемы), обучение с подкреплением - базальные ганглии (средние участки схемы), обучение без учителя - кора (зеленые участки схемы)) (взято из [13])

зовывать простые решения без обратных связей и длительного поиска альтернативных путей [6]. Входными сигналами для мозжечка служат те же сигналы, что и для базальных ядер: проекции сенсорных и ассоциативных отделов коры (представление ситуаций) и, в качестве выбранного варианта действия - проекции моторных отделов. Выходы мозжечка дополняют выходы моторных отделов коры и призваны разгрузить базально-кортикальную систему (см. рис. 1.8). Мозжечок похож на обычный перцептрон, где входной сигнал поступает на большое количество гранулярных клеток ( $6 \cdot 10^{10}$ ), а выход формируется большими клетками Пуркинье ( $10^7$ ) с развитой дендритной системой ( $10^5$  синапсов). Клетки Пуркинье получают сигнал от лазающего волокна, дублирующего решения коры для обучения синапсов (см. рис. 1.7).

Некоторые общие схемы нервных цепочек изображены на рис. 1.9 и 1.10.

Описанная выше схема реализовывала так называемой быстрое поведение (по Канеману [5]). Более сложное (логическое) поведение в незнакомой ситуации вырабатывается в латеральной лобной области коры [7] за счет высокой связности и синхронности работы этих отделов коры [1]. Здесь происходит символическое абстрагирование от внешнего мира, что позволяет оперировать более сложными понятиями и цепочками действий не прорабатывая их в деталях. Такие, имеющие потенциальную

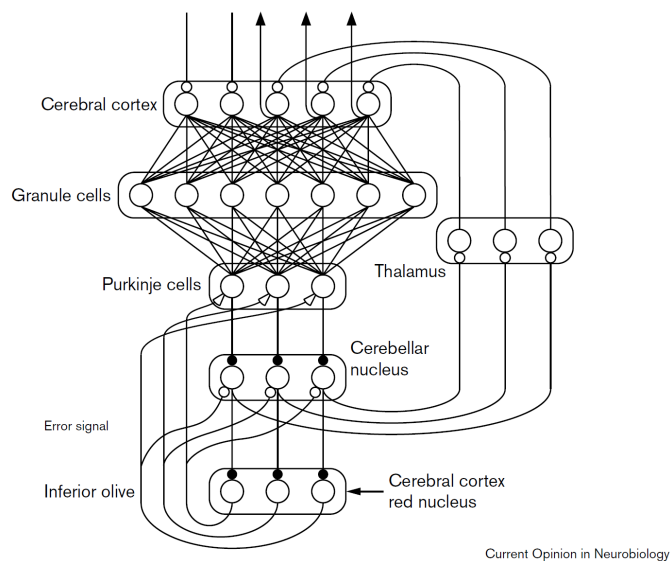


Рис. 1.8: Цикл, образуемый корой и мозжечком и реализующий обучение с учителем (взято из [2])

реализацию в моторной и сенсорной иерархиях, структуры, знаки, позволяют нам мыслить без привязки к внешним сигналам в некоторой виртуальной реальности. Таким образом, знаки (или, в другой терминологии, коги [11]) выступают вершиной некоторого сенсомоторного «айсберга».



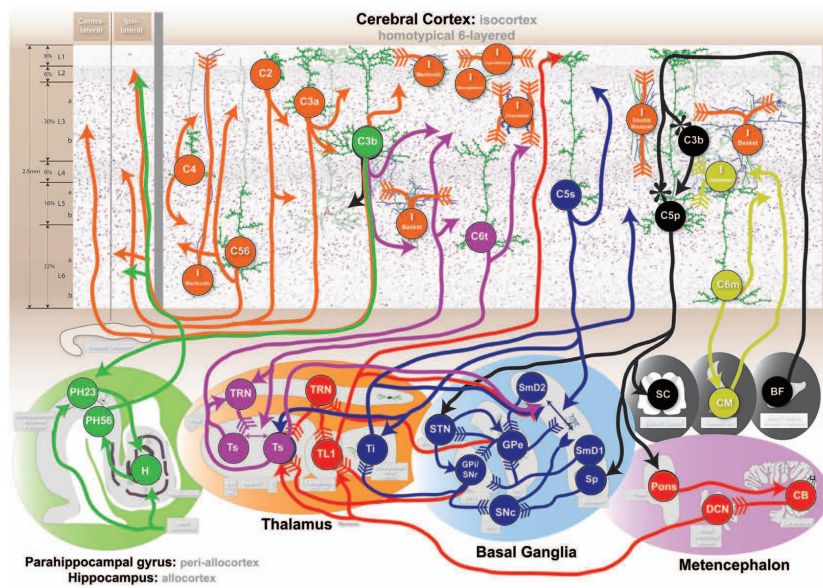


Рис. 1.9: Когнитивные цепи (взято из [9]). Оранжевые стрелки - консолидация декларативной долговременной памяти, синие - выбор действий и поведенческая память, черные - реализация поведенческой памяти, красные - когнитивный контроль, желтые - регуляция потока информации в коре.

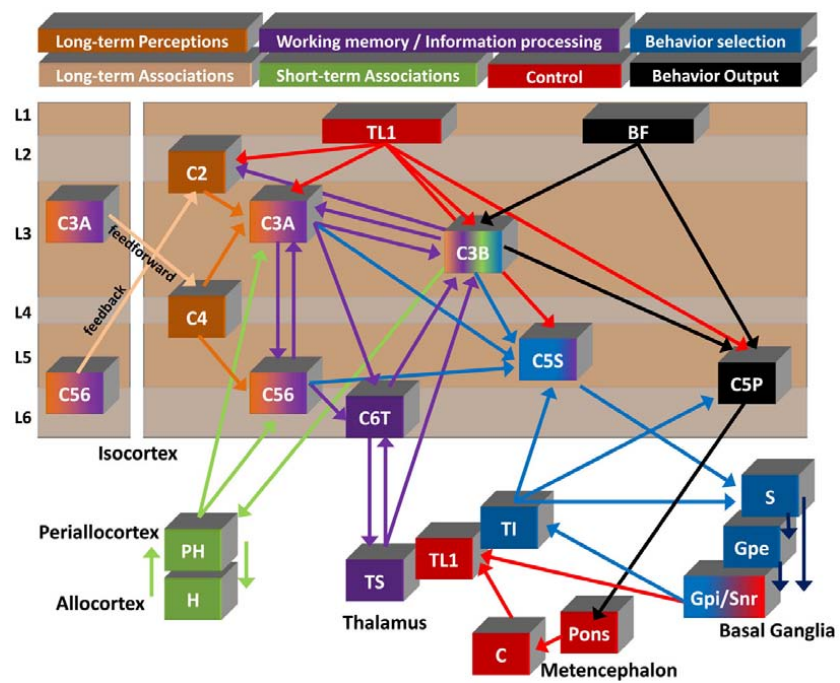


Рис. 1.10: Когнитивные цепи (взято из [9])

## Список литературы

1. *Baars B. J., Franklin S., Ramsoy T. Z.* Global workspace dynamics: Cortical "binding and propagation" enables conscious contents // *Frontiers in Psychology*. — 2013. — Vol. 4, MAY. — Pp. 1–22.
2. *Doya K.* Complementary roles of basal ganglia and cerebellum in learning and motor control // *Current Opinion in Neurobiology*. — 2000. — Vol. 10. — Pp. 732–739.
3. *Gurney K., Prescott T. J., Redgrave P.* A computational model of action selection in the basal ganglia. I. A new functional anatomy // *Biological cybernetics*. — 2001. — Vol. 84, no. 6. — Pp. 401–410.
4. *Izhikevich E. M., Edelman G. M.* Large-scale model of mammalian thalamocortical systems // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. — 2008. — Vol. 105, no. 9. — Pp. 3593–8.
5. *Kahneman D.* Thinking Fast and Slow. — New York : Penguin, 2011. — P. 443.
6. *Kawato M.* Cerebellum: Models // *Encyclopedia of Neuroscience*. Vol. 2. — 2009. — Pp. 757–767.
7. Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control / M. W. Cole [et al.] // *Nature Neuroscience*. — 2013. — Vol. 16, no. 9. — Pp. 1348–1355.
8. *Saletin J. M., Walker M. P.* Nocturnal Mnemonics: Sleep and Hippocampal Memory Processing // *Frontiers in Neurology*. — 2012. — Vol. 3. — Pp. 1–12.
9. *Solari S. V. H., Stoner R.* Cognitive consilience: Primate non-primary neuroanatomical circuits underlying cognition // *Frontiers in Neuroanatomy*. — 2011. — Vol. 5. — Pp. 1–23.

10. Translational principles of deep brain stimulation. / M. L. Kringelbach [et al.] // Nature reviews. Neuroscience. — 2007. — Vol. 8, no. 8. — Pp. 623–635.
11. *Анохин К. В.* Коннектом и когнитом: заполнение разрыва между мозгом и разумом // Седьмая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. Светлогорск, 20-24 июня 2016 г. / под ред. Ю. Александрова, К. Анохина. — М. : Изд-во "Институт психологии РАН", 2016. — С. 18–19.
13. *Шумский С. А.* Реинжениринг архитектуры мозга: роль и взаимодействие основных подсистем. — 2015.

## Глава 2

# Модели картины мира

### 2.1 Психосемантическая парадигма

Образ, картина мира оказывается производной от ценностно-мотивационной сферы (единичного или коллективного) субъекта познания, степени развития и характера инструментальных средств познания, от модельного языка, в котором создаются образы познаваемого [12]. Идея опосредующей роли языка в познании восходит к В. Гумбольдту, полагавшему, что «различные языки — не разные обозначения одного и того же предмета, а разные видения его», к идеям Э. Сепира - Б. Уорфа, сформулировавшим гипотезу «лингвистической относительности», полагающую определяющую роль того или иного национального языка в особенностях мышления людей различных культур и в содержании их картины мира. Келли рассматривает построение картины мира обычным человеком по аналогии с ученым, создающим гипотезы о мире, проверяющим их адекватность и корректирующим их. Картина мира выступает не слепком с действительности, а одной из удобных форм ее описания. «Это карта, а не территория», — пишут основатели Нейролингвистического программирования (НЛП) Р. Бэндлер и Д. Гриндер (1995).

## Список литературы

12. *Петренко В. Ф.* Многомерное сознание: психосемантическая парадигма. — М. : Новый хронограф, 2009. — С. 440.