1 ОСНОВЫ АНАТОМИИ И ФИЗИОЛОГИИ СИСТЕМЫ РАВНОВЕСИЯ

Если вы читаете эту книгу, скорее всего вы практикующий врача. Мы понимаем ваше беспокойство о необходимости возвращаться и повторять базовые аспекты анатомии и физиологии. Мы уверяем, что все описанное в данной главе напрямую связано с диагностикой и лечением пациентов с головокружением.

Равновесие — результат постоянного взаимодействия вестибулярной, проприоцептивной и зрительной систем, которые интегрируются и модулируются на всех уровнях центральной нервной системы (ЦНС). Повреждение или дисфункция любой из этих систем может приводить к нарушениям равновесия или усугублять нетяжелые расстройства вестибулярного аппарата. Например, острое вирусное поражение вестибулярного нерва VIII пары черепных нервов (ЧН) (вестибулярный неврит) у молодого пациента без сопутствующих заболеваний вылечить несложно, даже при выраженном одностороннем нарушении вестибулярной функции. В то же время аналогичный вестибулярный неврит у пожилого пациента с дисфункцией зрительной, проприоцептивной систем или ЦНС может привести к стойкому нарушению равновесия.

АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ

Основные положения

- Лабиринт — лишь один из отделов системы равновесия, тем не менее головокружение чаще всего связано именно с поражением внутреннего уха.
- Полукружные каналы (горизонтальный, передний и задний) воспринимают угловые ускорения головы. Отолитовый отдел вестибулярного аппарата (сферический и эллиптический мешочки) — орган восприятия линейного ускорения, в том числе гравитационного.
- Каждое внутреннее ухо имеет по три полукружных канала и по два отолитовых органа. В большинстве вестибулярных тестов исследуют функциональное состояние только латерального полукружного канала, то есть одной пятой части лабиринта.
- Верхняя ветвь вестибулярного нерва состоит из афферентных волокон от переднего, горизонтального полукружных каналов и от эллиптического мешочка.

Нижняя ветвь содержит волокна от заднего полукружного канала и эллиптического мешочка. Поэтому у пациентов с вестибулярным невритом (нейронитом) могут возникать нарушение функции латерального полукружного канала и ДППГ, связанное с задним полукружным каналом.

- Кровоснабжение приблизительно повторяет схему иннервации, поэтому возможны изолированные нарушения кровоснабжения улитки или преддверия. Впрочем, за исключением случаев, когда поражается какая-либо концевая артериальная ветвь, обычно в равной степени страдают оба органа, а также ствол мозга.
- Фоновая активность вестибулярного аппарата (вестибулярный «тонус») объясняет, почему одностороннее выпадение его функции вызывает головокружение даже в том случае, когда голова неподвижна. Это также объясняет тот факт, что пациенты с единственным функционирующим лабиринтом могут распознавать движения головы во всех направлениях (движение, активирующее рецепторы соответствующего полукружного канала, увеличивает вестибулярный тонус, а движение в обратном направлении уменьшает его).

Анатомию и физиологию принято изучать как два отдельных предмета. Ниже мы постараемся объединить эти две дисциплины и, насколько это возможно, патологию, поскольку такой интегральный подход наиболее удобен для клинициста.

Головокружение и нарушения равновесия (см. также главу 2) у пациентов с различными заболеваниями вестибулярного анализатора часто схожи. Следовательно, для постановки правильного диагноза необходим анализ дополнительных симптомов, которые в большинстве случаев обусловлены поражением смежных структур. В связи с этим важно знать не только анатомию различных отделов вестибулярного анализатора, но и рядом расположенных образований.

Лабиринт состоит из костного лабиринта, расположенного в пирамиде височной кости, и лежащего внутри него перепончатого лабиринта. В перепончатом лабиринте находится рецепторный эпителий, который воспринимает звуковые колебания (в улитке) и движения тела (в преддверии). Перепончатый лабиринт заполнен эндолимфой, омывающей рецепторный эпителий; полость между перепончатым и костным лабиринтами заполнена перилимфой. Вестибулярный (задний) лабиринт состоит из специализированных органов: полукружных каналов с ампулярными гребешками, регистрирующих угловое ускорение, и отолитовой системы, регистрирующей линейное и гравитационное ускорения.

Полукружные каналы

Каждое внутреннее ухо (левое и правое) содержит три полукружных канала, один из которых (горизонтальный) расположен горизонтально, а два других (передний и задний) вертикально. Все три полукружных канала расположены приблизительно под прямым углом по отношению друг к другу и поэтому могут воспринимать угловое движение в любой плоскости или направлении (рис. 1-1). Восприятие движений головы обеспечивается активацией правых и левых полукружных каналов, находящихся в плоскости движения и таким образом образующих функциональные пары.

- Горизонтальные каналы регистрируют повороты головы в горизонтальной плоскости.
- Движения головы в диагональных или наклонных плоскостях (например, в случае, если повернутая вправо на 45° голова наклоняется вверх и вниз) регистри-

руются передним полукружным каналом одной стороны и задним полукружным каналом другой стороны. В приведенном примере активируются левый передний и правый задний каналы (см. рис. 1-1).

- Движение головы вниз в сагиттальной плоскости стимулирует оба передних и ингибирует оба задних канала; движение головы вверх в этой же плоскости оказывает противоположное действие.
- Наклон головы к плечу стимулирует передний и задний каналы на одной стороне и ингибирует оба вертикальных канала на другой.

Механизм активации рецепторов полукружного канала показан на рис. 1-2.

Каждый полукружный канал одним концом свободно сообщается с преддверием, другой конец канала расширен — так называемая ампула, в области которой находится ампулярный гребешок, содержащий рецепторный эпителий — волосковые клетки. Волоски (реснички) последних погружены в желеобразную массу — так называемый ампулярный купол (купула), который соединяется со стенками канала. Отклонение купулы при угловых движениях головы сопровождается сгибанием волосков чувствительных клеток, что приводит к генерации потенциала действия, который воспринимается вестибулярным нервом. Как показано на рис. 1-2, поворот головы влево вызывает смещение эндолимфы в противоположную сторону и, таким образом, отклоняет купулу.

Напомним, что каждый полукружный канал имеет открытый и закрытый (купулярный) конец: лечение доброкачественного пароксизмального позиционного

Рис. 1-1. Расположение полукружных каналов. Рисунок демонстрирует пары полукружных каналов, которые активируются при движении головы в наклонной (диагональной) плоскости. При наклонах повернутой на 45° вправо головы вверх и вниз ее перемещения воспринимаются левым передним и правым задним полукружными каналами

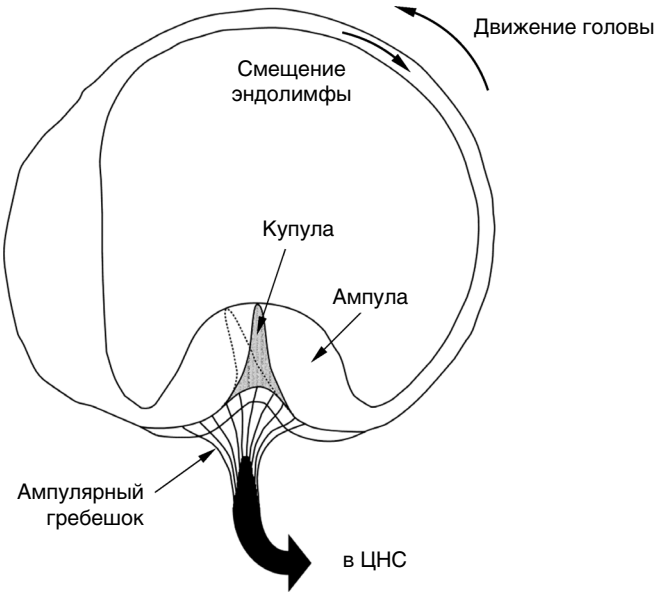

Рис. 1-2. Активация рецепторов полукружного канала. При ротации головы в определенном направлении эндолимфатическая жидкость смещается в противоположную сторону. Перемещающаяся эндолимфа оказывает давление на купулу и тем самым раздражает рецепторный эпителий. При длительной ротации головы (>30 с) эндолимфа прекращает смещаться относительно головы и раздражение канала постепенно прекращается

головокружения (ДППГ) с помощью репозиционных маневров основано на изменении положения головы пациента таким образом, чтобы частицы выходили через открытый конец полукружного канала.

Таким образом, в ЦНС поступает информация, в какой плоскости происходит перемещение головы, исходя из того, какие каналы активированы. Кроме того, ЦНС воспринимает, насколько быстро перемещается голова, что определяется по частоте потенциалов действия преддверного нерва (последняя, в свою очередь, зависит от величины отклонения купулы при перемещении эндолимфы).

Вестибулярный тонус

Концепция вестибулярного тонуса весьма важна в практическом плане, поскольку имеет непосредственное отношение к оценке клинических проявлений. Использование термина «тонус» связано с тем, что даже в отсутствие движений головы полукружные каналы (и соответственно вестибулярный нерв) генерируют потенциал действия — так называемый тонический потенциал. Волосковые рецепторные клетки в каждом из полукружных каналов ориентированы таким образом, что смещение купулы в одну сторону усиливает афферентную импульсацию по вестибулярному нерву, при смещении купулы в противоположную сторону она снижается. Например, поворот головы вправо будет увеличивать афферентную импульсацию правого горизонтального полукружного канала и уменьшать афферентную импульсацию левого горизотнального полукружного канала. Головной мозг воспринимает

направление поворота головы, так как на одной стороне нервная активность возрастает, а на другой уменьшается. Из сказанного выше следуют два практически важных вывода.

- У пациента с односторонней гипофункцией вестибулярного анализатора головокружение возникает даже в покое (в отсутствие движений головы). Разница в тонической афферентной импульсации слева и справа ошибочно воспринимается ЦНС как перемещение головы.
- Даже в случае полного стойкого выпадения функции полукружного канала с одной стороны головной мозг способен различать угловые движения. Сохранившийся полукружный канал противоположной стороны способен воспринимать перемещение головы в обоих направлениях в соответствующей плоскости (путем уменьшения или увеличения афферентной импульсации). Эта возможность сохранившегося лабиринта воспринимать перемещения головы составляет основу вестибулярной компенсации, которая обеспечивает восстановление вестибулярных функций у пациентов с односторонним поражением вестибулярного анализатора.

Кратковременные и длительные угловые перемещения головы

Отдельно следует разобрать особенности функционирования полукружных каналов при кратковременных и длительных угловых перемещениях головы, поскольку они имеют клиническое значение.

Быстрые кратковременные угловые перемещения головы

Как уже указывалось выше, угловое перемещение головы в той или иной плоскости вызывает активацию полукружного канала на одной стороне и угнетение — на другой, однако эти разнонаправленные изменения афферентной импульсации не являются строго симметричными. При активации полукружного канала афферентный сигнал практически не имеет предела «насыщения», раздражение нерва увеличивается пропорционально увеличению скорости движения. Напротив, при угнетении полукружного канала существует предел «насыщения», поскольку афферентная импульсация не может уменьшиться ниже нуля (то есть на определенном этапе полностью прекращается).

Клиническое значение указанной особенности заключается в том, что при быстром ускорении в сторону поражения угловая скорость не будет в полном объеме воспринята сохранившимся лабиринтом, так как существует предел снижения афферентной импульсации. По этой причине во время быстрых движений головой в сторону пораженного лабиринта у пациентов могут возникнуть неустойчивость, головокружение или осциллопсия.

Указанный феномен также лежит в основе положительного теста поворота головы (см. главу 2) — недостаточность компенсаторного перемещения глазных яблок (происходящего с участием вестибулярного анализатора) во время быстрого поворота головы в сторону пораженного лабиринта. Вместо плавного компенсаторного перемещения глазных яблок врач наблюдает саккаду с повторной фиксацией взора. Этот признак свидетельствует о пониженной активности лабиринта на стороне поворота головы (см. раздел «Вестибулоокулярный рефлекс»).

Длительные угловые перемещения головы

Отклонение купулы происходит вследствие инерционного смещения эндолимфы. В качестве наглядного примера можно представить себе жидкость (эндолимфа) в чашке (череп). При резком повороте чашки в первый момент жидкость останется на месте. Это «движение» эндолимфы относительно полукружного канала и отклоняет купулу. Скорость «движения» эндолимфы относительно полукружного канала будет максимальной в начале движения. Возвращаясь к примеру, если продолжать вращать чашку, через некоторое время жидкость внутри будет двигаться с такой же скоростью. По этой причине — максимальном отклонении купулы в начале движения, или в фазе ускорения, — следует считать полукружные каналы органами, воспринимающими изменение скорости (то есть ускорение), но не собственно скорость перемещения.

Таким образом, при вращении головы с постоянной скоростью со временем наступает момент, когда череп и эндолимфа вращаются с одинаковой скоростью, то есть отсутствует относительное смещение эндолимфы и полукружного канала. Во время длительного вращения отклонение купулы и соответственно вестибулярная импульсация постепенно уменьшаются и в конечном счете примерно через 15–20 с непрерывного вращения возвращаются к фоновой. При прекращении движения инерционное смещение эндолимфы отклоняет купулу в другом направлении. Именно поэтому при резком прекращении продолжительного вращения (например, на карусели) ощущение вращения сохраняется еще некоторое время.

Этот феномен лежит в основе «стоп-теста», который проводят на кресле Барани (или на вращающемся офисном кресле). Обследуемого усаживают на вращающееся кресло, которое крутят в течение 20–30 с, после чего резко останавливают. У обследуемого возникает головокружение, если посмотреть на его глазные яблоки, можно заметить их ритмичные содружественные подергивания — вестибулярный нистагм. Сравнение продолжительности нистагма после вращения вправо и влево позволяет оценить симметричность вестибулярных функций (оценка которой лежит в основе всех вестибулярных тестов).

Отолитовая система

Функция отолитовой системы — восприятие линейных ускорений головы. Поскольку сила тяжести также линейное ускорение, отолитовые рецепторы воспринимают наклон головы в соответствии с вектором силы тяжести. С каждой стороны расположены по два отолитовых органа — сферический и эллиптический мешочки. Схематично они показаны на рис. 1-3.

Чувствительность отолитовых волосковых клеток к линейному ускорению определяется массой тяжелых кристаллов кальция — отолитов, находящихся в отолитовой мембране между волосками клеток. При ускорении головы тяжелая, нагруженная отолитами мембрана «отстает», отклоняя, таким образом, волоски клеток и генерируя потенциал действия в афферентных вестибулярных волокнах. Близкое к горизонтальному расположение эллиптического мешочка делает его чувствительным к линейному ускорению в горизонтальной плоскости. Сферический мешочек расположен почти в вертикальной плоскости, поэтому он чувствителен к ускорению в сагиттальной плоскости.

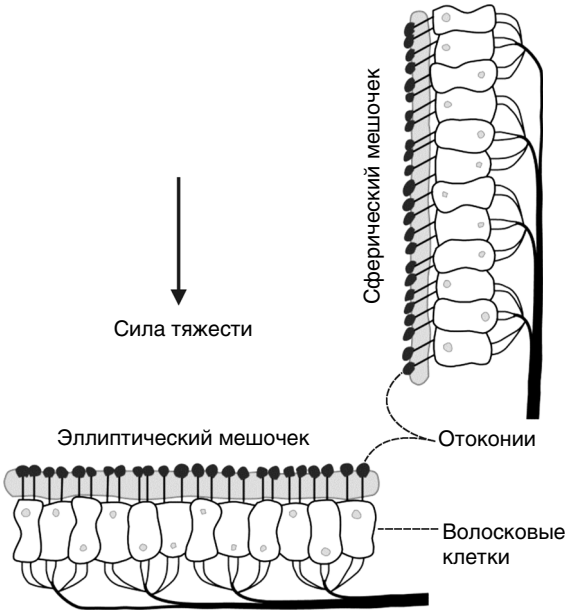

Рис. 1-3. Отолитовые органы. Обратите внимание на желеобразную мембрану, содержащую кристаллы карбоната кальция (отолитовая мембрана). В нормальном вертикальном положении головы эллиптический мешочек расположен почти горизонтально, сферический мешочек — почти вертикально. В таком положении сила тяжести (стрелка) отклоняет волоски клеток от исходного положения преимущественно в сферическом мешочке. Следует отметить, что линейное ускорение при движении головы вверх будет оказывать точно такой же эффект

Важно учитывать, что обычные движения головы комбинированные, то есть сопровождаются линейными и угловыми ускорениями в разных плоскостях и направлениях. Совместное функционирование четырех отолитовых органов и шести полукружных каналов позволяет воспринимать любые сложные перемещения в пространстве. В связи с этим следует напомнить, что большинство рутинных вестибулярных тестов (калорические и вращательные тесты) основаны на изучении функции горизонтальных полукружных каналов, то есть всего лишь 20% всего вестибулярного аппарата. Очевидно, именно поэтому у некоторых пациентов с вестибулярной симптоматикой результаты вестибулярных тестов находятся в пределах нормы.

Очевидно, что отолитовые органы чувствительны к звуку. Данное свойство нашло применение в клинической практике и используется в методе вестибулярных вызванных миогенных потенциалов (VEMP), в ходе которого используются громкие звуки (обычно щелчки) для активации потенциалов.

Иннервация и кровоснабжение лабиринта

Афферентную иннервацию полукружных каналов и отолитовых органов обеспечивает вестибулярный нерв (рис. 1-4). Прежде чем достичь преддверного узла Скарпа (где находятся тела чувствительных нейронов), нервные волокна группируются в два пучка. Верхняя часть вестибулярного нерва содержит волокна от переднего и горизонтального полукружных каналов, а также от эллиптического мешочка. Нижняя часть вестибулярного нерва состоит из волокон от заднего полукружного канала и сферического мешочка. Аксоны нейронов, тела которых находятся в узле Скарпа, далее проходят через внутренний слуховой проход и присоединяются сзади к улитковому нерву, формируя преддверно-улитковый нерв (VIII пара ЧН).

Такое анатомическое распределение позволяет объяснить несколько клинических особенностей. Например, при вирусном вестибулярном неврите обычно

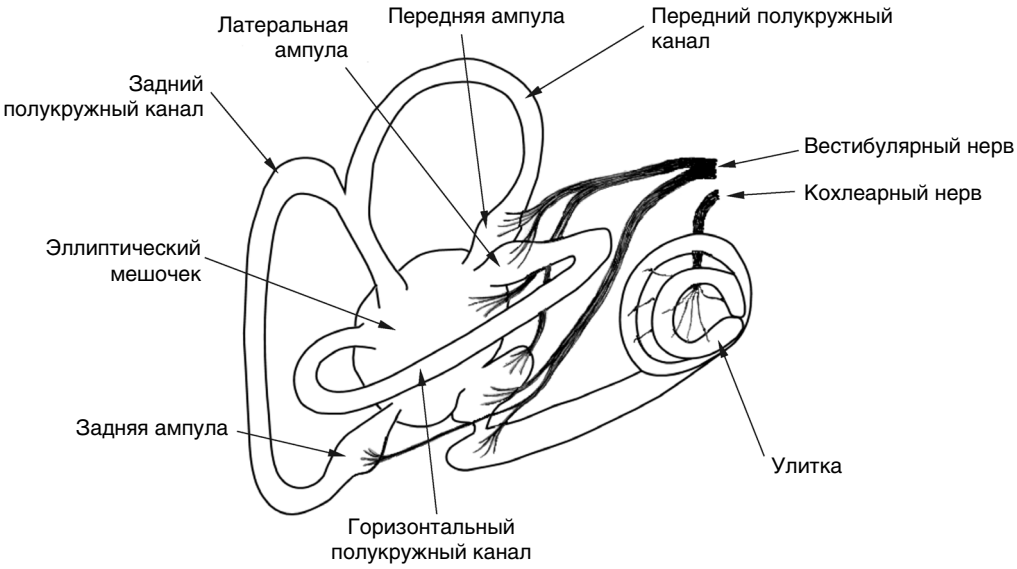

Рис. 1-4. Иннервация лабиринта. Показаны две части вестибулярного нерва — верхняя и нижняя

поражается только верхняя часть вестибулярного нерва. Поражение горизонтального полукружного канала обусловливает утрату его возбудимости при калорической пробе (см. главу 2). Вовлечение в патологический процесс эллиптического мешочка может привести к разрушению отолитовой мембраны и выпадению в преддверие кристаллов кальция, откуда они могут попасть в просвет заднего полукружного канала. Поэтому у некоторых пациентов после эпизода вестибулярного неврита появляется позиционное головокружение: задний полукружный канал и нижняя часть вестибулярного нерва (функции которых сохранны) реагируют на аномальные движения эндолимфы, создаваемые находящимися в просвете канала отолитами (см. рис. 5-1).

Артериальная кровь к лабиринту поступает из артерии лабиринта (внутренней слуховой артерии), которая обычно отходит от передней нижней мозжечковой артерии, реже — от основной артерии. От артерии лабиринта отходит передняя преддверная артерия, обеспечивающая кровью передний и горизонтальный полукружные каналы, а также эллиптический мешочек (эти же структуры иннервирует верхняя часть вестибулярного нерва) (см. рис. 1-5). Артерия лабиринта продолжается как общая улитковая артерия и делится на две конечные ветви: преддверно-улитковую артерию, снабжающую кровью задний полукружный канал, сферический мешочек (то есть образования, иннервируемые нижней частью вестибулярного нерва), а также основной завиток улитки; и собственную улитковую артерию, несущую кровь к большей части улитки.

Можно отметить, что, как и в других областях тела, области иннервации и кровоснабжения в целом совпадают. Следовательно, острое локальное поражение переднего/горизонтального полукружных каналов и снижение слуха могут быть как результатом нарушения кровообращения в передней преддверной артерии, так и неврита верхней части вестибулярного нерва (при вестибулярном неврите).

Другой клинический пример — синдром передней нижней мозжечковой артерии, при котором наблюдают сочетание односторонних глухоты, нарушений

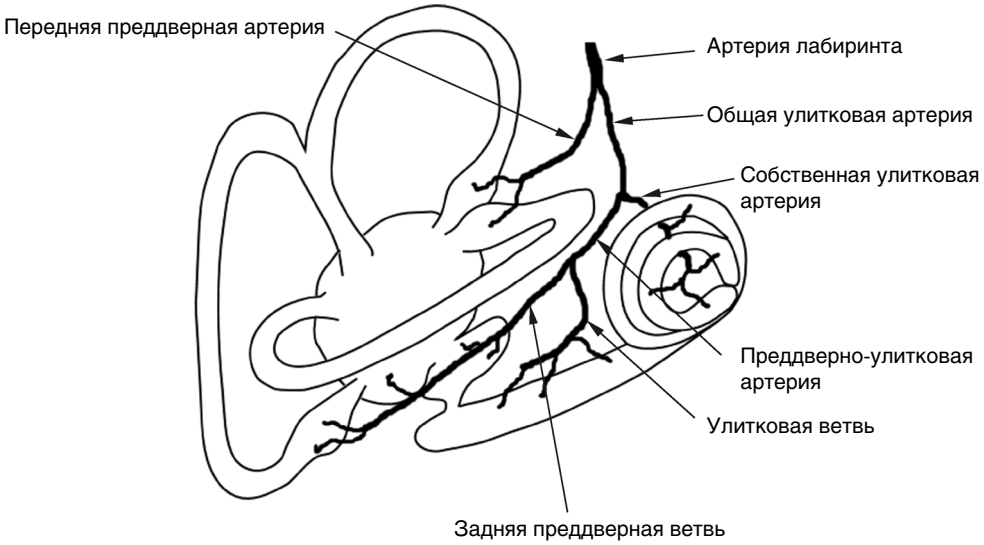

Рис. 1-5. Артериальное кровоснабжение лабиринта. Артерия лабиринта (внутренняя слуховая артерия) — ветвь передней нижней мозжечковой артерии. Передняя преддверная артерия снабжает кровью образования, иннервируемые верхней частью вестибулярного нерва (см. рис. 1-4), то есть передний и горизонтальный полукружные каналы

функции полукружных каналов и мозжечковых симптомов (напомним, что артерия лабиринта обычно отходит от передней нижней мозжечковой артерии). Зная анатомию, можно утверждать, что вероятность того, что инсульт или транзиторная ишемическая атака (ТИА) в вертебробазилярном бассейне будут проявляться изолированным головокружением (в отсутствие нарушений слуха и симптомов поражения мозжечка/ствола/затылочной доли), крайне мала. Поэтому следует предостеречь от гипердиагностики «сосудистого головокружения» вследствие «вертебробазилярной недостаточности», если нет сопутствующих симптомов со стороны ЦНС или нарушений слуха.

Центральные проводящие пути

Вестибулярный проводящий путь начинается с первичных вестибулярных нейронов, тела которых лежат в преддверном узле (узле Скарпа) во внутреннем слуховом проходе. Эти нейроны заканчиваются на вестибулярных ядрах ствола мозга. В свою очередь нейроны вестибулярных ядер связаны с: а) таламокортикальными структурами; б) ядрами глазодвигательных нервов через систему медиального продольного пучка; в) спинным мозгом; г) мозжечком; д) вегетативными центрами продолговатого мозга (рис. 1-6). Это наглядный пример клинико-анатомической корреляции, объясняющей тот факт, что у пациентов с вестибулярной дисфункцией возникают: а) иллюзия вращения (системное головокружение); б) нистагм; в) неустойчивость со склонностью к падению в сторону поражения; г) шаткая походка; д) вегетативные симптомы — тошнота, рвота, потливость (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Центральные восходящие пути и симптомы, связанные с их поражением

Пути	Симптомы
Вестибулокортикальный	Головокружение
Вестибулоокуломоторный	Нистагм
Вестибулоспинальный	Неустойчивость
Вестибуловегетативно-лимбический	Тошнота, потливость, тревога

Топическая диагностика

Применительно к клинической практике знание анатомии позволяет получить ответы на два важных вопроса. Первый из них — выяснение, какие функции нарушатся при повреждении того или иного образования или проводящего пути, второй — уточнение, какие структуры располагаются рядом с интересующим проводящим путем. Применительно к вестибулярной системе ответ на первый вопрос прост: ее поражение на любом уровне — от внутреннего уха до коры головного мозга — будет сопровождаться головокружением или неустойчивостью. Следовательно, в основе топической диагностики при вестибулярных нарушениях будет лежать анализ сопутствующих симптомов, отражающих поражение структур, расположенных рядом с вестибулярной системой. В пределах височной кости к этим структурам относятся кортиев орган и улитковый нерв; после выхода из внутреннего слухового прохода рядом с преддверно-улитковым (VIII) нервом располагаются V, VI и VII пары ЧН (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Локализация и структуры

Топический диагноз с указанием близлежащих структур	
Внутреннее ухо/височная кость	Улитка и улитковый нерв
Внутренний слуховой проход	V, VI, VII пары черепных нервов и улитковый нерв
Ствол мозга	III, IV, V, VI, VII, IX, X пары черепных нервов и мозжечок

Вестибулярные и кохлеарные проводящие пути разделяются вскоре после входа в ствол мозга в области мостомозжечкового угла, поскольку их волокна заканчиваются на вестибулярных (медиальных) и кохлеарных (латеральных) ядрах соответственно. Из этого следуют два клинически важных аспекта.

- При поражениях в области лабиринта, височной кости и в области мостомозжечкового угла вестибулярные расстройства часто сопровождаются односторонними нарушениями слуха.
- Центральные вестибулярные расстройства редко сочетаются с клинически манифестными нарушениями слуха. Это связано не только с разделением вестибулярных и кохлеарных проводящих путей в ЦНС, но также с наличием множественных перекрестов и билатеральным представительством центральных слуховых проводящих путей.

В стволе мозга в пределах относительно небольшого анатомического пространства сосредоточено множество жизненно важных ядер и проводящих путей. При этом представительство вестибулярного анализатора в стволе мозга довольно велико (что, несомненно, указывает на большое значение системы равновесия в эволюционном плане). Поэтому вестибулярные симптомы при поражении ствола мозга — достаточно частое явление. Рядом с вестибулярными проводящими путями располагаются

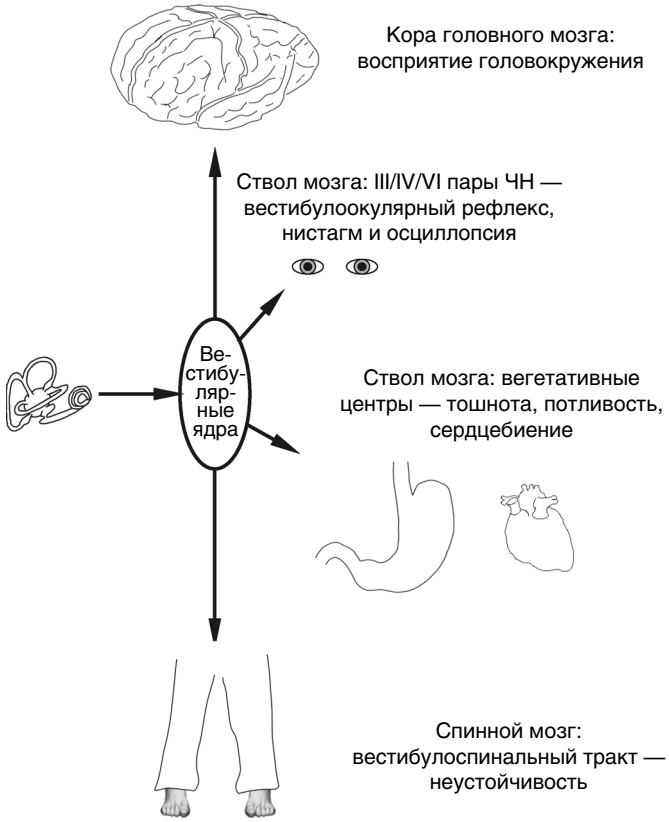

Рис. 1-6. Центральные проекции вестибулярных нейронов, объясняющие симптомы, возникающие при острых вестибулярных нарушениях: головокружение (кора головного мозга), нистагм и осциллопсия (ядра глазодвигательных нервов), неустойчивость (вестибулоспинальные пути), вегетативные симптомы

ядра многих ЧН: III, IV, VI (их поражение сопровождается, в частности, двоением), V (снижение чувствительности кожи лица), VII (слабость мимических мышц), IX, X (нарушения глотания и артикуляции) пар (рис. 1-7). Вестибулярная система в функциональном плане тесно связана с мозжечком, что объясняет наличие головокружения при его поражениях. В свою очередь, при центральных вестибулярных расстройствах часто отмечают мозжечковую атаксию как следствие анатомической близости вестибулярных структур и трех ножек мозжечка.

Симптомы со стороны длинных проводящих путей (гемианестезия, гемипарез) при стволовых вестибулярных поражениях наблюдают реже, чем мозжечковые расстройства или симптомы поражения ЧН. Кортикоспинальный (пирамидный) и соматосенсорный (медиальная петля) пути проходят в основании ствола мозга, тогда как вестибулярные проводящие пути располагаются в покрышке ствола, на дне IV желудочка (см. рис. 1-7).

Вопрос о корковом представительстве вестибулярного анализатора до сих пор остается нерешенным. Неясно, существуют ли специфические области коры, ответственные за вестибулярные функции, или же вестибулярные пути проецируются на мультисенсорные области, участвующие в пространственной ориентации (что, в частности, объясняет редкость системного головокружения при кортикальных поражениях). Вращательное головокружение может быть вызвано электрической стимуляцией или повреждением коры островковой доли (иногда ее обозначают как теменно-островковую вестибулярную кору).

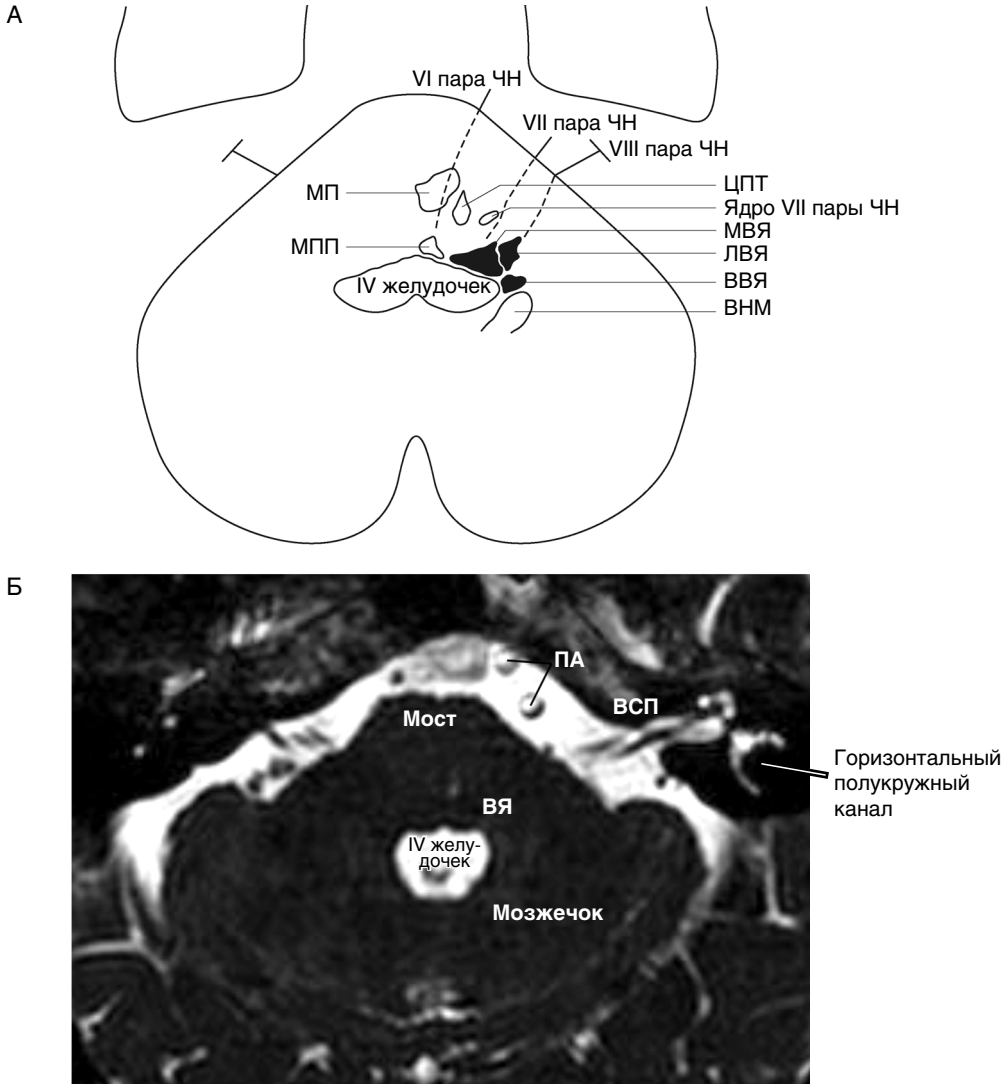

Рис. 1-7. Структуры, располагающиеся рядом с образованиями вестибулярного анализатора в стволе мозга (уровень нижнего моста). А — латеральное (ЛВЯ), медиальное (МВЯ) и верхнее (ВВЯ) вестибулярные ядра на дне IV желудочка. Поражение VI пары ЧН и медиального продольного пучка (МПП) обусловливает глазодвигательные нарушения, такие как двоение. Поражение ядер VII и V пар ЧН вызывает слабость мимической мускулатуры и снижение поверхностной чувствительности на лице соответственно. Вовлечение в процесс центрального покрышечного тракта (ЦПТ) и верхней ножки мозжечка (ВНМ) может приводить к атаксии. Поражение медиальной петли (МП) приводит к нарушению чувствительности на контралатеральной стороне тела. Б — МРТ на соответствующем уровне. ВСП — внутренний слуховой проход, содержащий преддверно-улитковый и лицевой нервы; ПА — позвоночные артерии; ВЯ — вестибулярные ядра (предоставлено Dr D. Behrendt, Dept of Radiology, Schlosspark-Klinik, Berlin)

ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ

Общие положения

- Выделяют два вида движения глазных яблок:
  - стабилизирующие взгляд (медленно-фазные движения) — вестибулоокулярный рефлекс и плавное слежение;
  - переводящие взгляд (быстро-фазные движения) — саккады и быстрый компонент нистагма.
- Функция вестибулоокулярного рефлекса заключается в стабилизации положения глазных яблок при движениях головы. Следует заподозрить нарушение вестибулоокулярного рефлекса, если пациент сообщает о дрожании изображения во время движения головы.
- Подавление вестибулоокулярного рефлекса — опосредованный плавным слежением механизм, который позволяет затормозить вестибулоокулярный рефлекс во время движений головы при произвольной фиксации взгляда на одновременно перемещающемся предмете (например, при фиксации взгляда на наручных часах во время поворота за угол).
- Плавное слежение позволяет фиксировать взглядом медленно движущийся объект (и соответственно обеспечить его ясное восприятие).
- Саккады — быстрые движение глаз, позволяющие фиксировать взгляд на различных предметах.
- Основные правила.
  - Периферические вестибулярные расстройства сопровождаются нарушением вестибулоокулярного рефлекса, но при этом другие движения глаз не нарушаются.
  - Центральные расстройства могут сопровождаться расстройствами плавного слежения, саккад, подавления вестибулоокулярного рефлекса; при этом вестибулоокулярный рефлекс может быть как сохранным, так и нарушенным.

Исследование движений глазных яблок имеет большое значение при обследовании пациента с нарушениями равновесия. По значимости оно стоит на втором месте после сбора анамнеза. В связи с этим важно понимать некоторые физиологические принципы, которые существенно облегчат понимание клинической картины.

Глазодвигательные системы позволяют стабилизировать взгляд при перемещении относительно объекта (вестибулоокулярный рефлекс) либо при наблюдении за движущимся объектом (плавное слежение). Эти механизмы стабилизации взгляда называют медленно-фазными. Напротив, быстрый компонент нистагма и саккады, которые позволяют переводить взор от одного объекта к другому (то есть осуществляют рефиксацию взора), называют быстро-фазными механизмами. Эти системы имеют разные анатомические и физиологические основы и, следовательно, обладают самостоятельным значением при топической диагностике.

Вестибулоокулярный рефлекс

Клиническая (а иногда и инструментальная) оценка вестибулоокулярного рефлекса имеет столь большое значение при обследовании пациентов с головокружением, что представляется оправданным рассмотреть этот рефлекс более подробно. Вестибулоокулярный рефлекс — филогенетически старый простой трехсинаптический рефлекс

[первый синапс — между вестибулярными волокнами VIII пары ЧН и вестибулярными ядрами, второй — между вестибулярными и глазодвигательными ядрами (III, IV, VI), третий — нервно-мышечный, то есть между аксонами ядер глазодвигательных нервов и одной из наружных мышц глазного яблока]. Столь простая нейрональная передача гарантирует быструю и эффективную передачу стимулов от вестибулярной к глазодвигательной системе.

Функция вестибулоокулярного рефлекса — стабилизация взгляда на объекте во время движений головы. Глаз часто сравнивают с фотокамерой, между тем каждый знает, что для получения четкого снимка следует держать ее неподвижно, в то время как глазами мы ясно видим предметы, даже если голова постоянно перемещается. Именно вестибулоокулярный рефлекс обеспечивает четкость изображения при перемещении головы. Это достигается за счет перемещения глазных яблок с такой же скоростью, с какой движется голова, но в противоположном направлении. Если фиксировать взглядом объект напротив и наклонять голову вперед и назад, восприятие предмета всегда будет четким независимо от скорости движений. В норме полукружные каналы точно воспринимают скорость движения головы и генерируют нервный импульс, поступающий в глазодвигательную систему, которая обеспечивает передвижение глазных яблок с такой же скоростью. По-другому обстоит ситуация у пациентов с острым односторонним нарушением вестибулярной функции: при поворотах головы в сторону поражения этот механизм не функционирует, и глаза будут двигаться с недостаточной скоростью. Предмет будет виден нечетко или возникнет иллюзия, что он дрожит (осциллопсия). Внимательный наблюдатель при этом может заметить следующую особенность: во время быстрого поворота головы в горизонтальной плоскости в сторону нормального лабиринта глаза пациента сохраняют фиксацию на объекте, но при аналогичном повороте в противоположную сторону (в сторону пораженного лабиринта) возникают несколько скачкообразных движений глазных яблок (саккад) для восстановления фиксации взора на выбранном объекте. Это свидетельствует о том, что горизонтальный полукружный канал на этой стороне поврежден (положительный тест поворота головы, см. главу 2).

Появление рефиксирующих саккад при поворотах головы в обе стороны почти всегда свидетельствует о тяжелом двустороннем поражении вестибулярного анализатора. В таких случаях при любых движениях (ходьбе, беге или поездке в автомобиле) у пациента будет возникать осциллопсия (иллюзия дрожания предметов). Более подробные инструкции по исследованию вестибулоокулярного рефлекса представлены в главе 2 (см. рис. 2-2 и 2-3).

Одна из особенностей вестибулоокулярного рефлекса заключается в том, что он оптимально функционирует при высокой частоте и скорости движений головы. Иначе говоря, специфическая функция вестибулоокулярного рефлекса заключается в стабилизации взгляда при очень быстрых или очень частых движениях головы в отличие от других глазодвигательных механизмов, таких как плавное слежение или оптокинетические движения, которые позволяют фиксировать взгляд только на относительно медленно движущихся объектах. В качестве иллюстрации можно провести простой эксперимент. Держа раскрытую книгу перед собой на расстоянии вытянутой руки, попробуйте читать ее, непрерывно поворачивая голову из стороны в сторону (движение по типу «нет–нет»). При этом никаких особых проблем при чтении не возникнет. Напротив, чтение будет серьезно затруднено, если, держа голову неподвижно, непрерывно перемещать книгу из стороны в сторону примерно с такой

же скоростью и амплитудой, как ранее голову. Это связно с тем, что в первом случае фиксацию взгляда обеспечивал вестибулоокулярный рефлекс, а во втором — плавное слежение. Большое количество синаптических передач и относительно длительные задержки при передаче импульса между зрительной и окуломоторной системами (в отличие от быстрой передачи сигнала при вестибулоокулярном рефлексе) делают невозможным использование механизма плавного слежения для стабилизации взора при высокой частоте и скорости перемещения объекта.

Во время поворотов головы с большой амплитудой (более 45°) перемещение глазных яблок в орбите обеспечивают быстро-фазные движения. Последовательное чередование медленной (стабилизирующей) и быстрой (возвращающей в исходное положение) фаз во время вращения головы с большой амплитудой составляет основу физиологического вестибулярного нистагма. Если встать в центре комнаты и сделать 2–3 полных оборота вокруг оси, можно ясно разглядеть все окружающие предметы. Медленная фаза (вестибулоокулярный рефлекс) обеспечивает устойчивое восприятие объектов. Быстрая фаза обеспечивает перевод взора от одного объекта к другому. Этот же механизм предотвращает чрезмерное отклонение глазных яблок в глазнице и составляет основу рефлекторного визуального поиска (сканирования), как это можно было заметить во время предложенного эксперимента. Основу рассматриваемых быстро-фазных движений глазных яблок составляют рефлекторные саккады. При движениях головы обычно вестибулярные (вестибулоокулярный рефлекс) и визуальные (плавное слежение и оптокинетические движения) механизмы функционируют содружественно. В то же время нередко наблюдают антагонизм между вестибулярными и визуально-моторными механизмами, что рассматривается в следующем разделе.

Подавление вестибулоокулярного рефлекса

Если во время ходьбы повернуть за угол, одновременно рассматривая окружающую обстановку, то благодаря стабилизации глаз, обеспечиваемой вестибулоокулярным рефлексом, изображения предметов останутся четкими. С другой стороны, если во время ходьбы смотреть на наручные часы, то при повороте за угол вестибулоокулярный рефлекс должен был бы отвести взгляд от них. Тем не менее этого не происходит, так как существует механизм подавления вестибулоокулярного рефлекса во время поворотов головы, в случае если взгляд произвольно фиксирован на одновременно перемещающемся предмете (рис. 1-8).

Результаты физиологических и клинических исследований свидетельствуют, что механизмы подавления вестибулоокулярного рефлекса и плавного слежения очень схожи, а возможно, и идентичны. Это легко проиллюстрировать на примере наблюдения за движущимся объектом, например за теннисным мячиком. За движениями теннисного мячика можно следить только с помощью глаз (плавное слежение) или одновременно поворачивая голову и глаза — в этом случае необходимо подавлять свой вестибулоокулярного рефлекс, чтобы удержать взгляд на мяче.

Из сходства механизмов плавного слежения и подавления вестибулоокулярного рефлекса следует, что их нарушения обычно сочетаются. Для реализации плавного слежения и угнетения вестибулоокулярного рефлекса необходима сохранность зрительной системы, визуального внимания и произвольной фиксации взгляда на объекте. Это подразумевает, что нарушения указанных механизмов всегда связаны

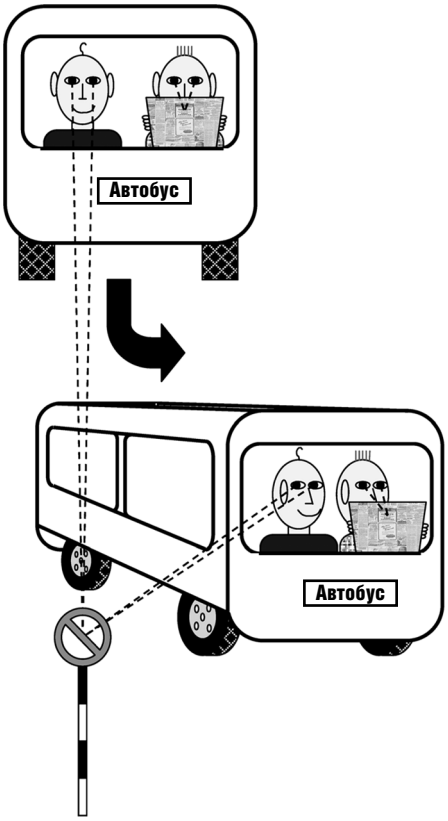

Рис. 1-8. Вестибулоокулярный рефлекс и его подавление. Человек, который смотрит на дорожный знак, в то время как автобус поворачивает, фиксирует на нем свой взгляд за счет вестибулоокулярного рефлекса. Другой человек фиксирует свой взгляд на газете, что возможно за счет подавления вестибулоокулярного рефлекса

с центральными поражениями (то есть в пределах ЦНС). При периферических вестибулярных расстройствах подавление вестибулоокулярного рефлекса и плавное слежение не нарушаются (см. рис. 2-5).

Плавное слежение

Механизм плавного слежения позволяет следовать взглядом за объектом, который перемещается в поле зрения. Если движущийся объект занимает большую площадь поля зрения, его называют оптокинетическим стимулом. У людей оба механизма преимущественно опосредуются корой головного мозга и мозжечком, поэтому различия между ними не имеют практического значения. У животных, особенно у которых плохо развито макулярное зрение и отсутствует система плавного слежения, оптокинетическая система опосредуется стволом мозга и наряду с вестибулоокулярным рефлексом обеспечивает фиксацию взора. В реализации плавного слежения, оптокинетических движений и подавления вестибулоокулярного рефлекса у человека участвуют одни и те же анатомические структуры, соответственно их нарушения имеют одинаковое клиническое значение.

Как было отмечено ранее, эти системы оптимально функционируют при низкой частоте (<0,5 Гц) и скорости (<50°/с) перемещения объектов. Если предмет движется с небольшой скоростью, например 10°/с, глазные яблоки успевают смещаться

вслед за ним с такой же скоростью. Если скорость перемещения предмета увеличивается настолько, что скорость перемещения глазных яблок становится недостаточной (то есть они отстают от объекта), возникает мелкая саккада. Это нормальный процесс, но при поражении проводящих путей, обеспечивающих плавное слежение, слежение за предметом преимущественно обеспечивается саккадами, а не медленно-фазным движением плавного слежения. Клинически это проявляется тем, что вместо плавного перемещения глазных яблок наблюдают серию их толчковых движений.

Саккады и быстрая фаза нистагма

Саккады — быстрые (до 500°/с) движения глазных яблок с рефиксацией взгляда. Скорость саккад произвольно не регулируется и прямо пропорциональна их величине. Выделяют несколько типов саккад: рефлекторные (например, в ответ на внезапные звук или появление нового визуального объекта), произвольные (саккады в темноте или в ответ на обращенные команды — «посмотрите налево», «посмотрите направо» и т.д.).

В реализации саккад (как и плавного слежения) участвует множество анатомических структур и проводящих путей. В то же время высокочастотные импульсы, необходимые для движения глазных яблок с большой скоростью, генерируются в ретикулярной формации ствола мозга. Существует два главных ретикулярных центра: генератор саккад в мосте мозга отвечает за горизонтальные саккады, в среднем мозге — за вертикальные саккады. Повреждения того или иного центра приводит к появлению замедления саккад и быстрой фазы нистагма в соответствующей плоскости.

МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Основные положения

- Вестибулярная компенсация — адаптивный процесс, обеспечивающий постепенное исчезновение симптомов периферического вестибулярного поражения. Он зависит от зрительной, проприоцептивной и сохранившейся вестибулярной афферентации, а также от пластичности ЦНС.
- Процессы пространственной ориентации и постурального контроля в значительной степени перекрываются. Проприоцептивные, зрительные и вестибулярные механизмы взаимодействуют как на корковом (перцептивном), так и на спинальном (моторном, двигательном) уровнях.
- Сенсорное «перевешивание» позволяет адекватно контролировать равновесие в случае отсутствия или недостаточности сенсорной афферентации одной модальности.

В обеспечении пространственной ориентации и контроле равновесия участвуют несколько афферентных потоков, особенно проприоцептивный, вестибулярный и зрительный. Изолированная активация каждой из этих систем может привести к появлению движений глаз или постуральной реакции. В нормальных условиях все три сенсорные системы активируются одновременно, а не по отдельности, и поступающая от них информация интегрируется практически на всех уровнях нервной системы.

Сенсорный конфликт

На рис. 1-9 показано, что даже в самом простом случае, когда человек поворачивает голову в сторону, возникает поток сенсорных импульсов от полукружных каналов, проприорецепторов шеи и зрительной системы. Обычно информация от различных сенсорных систем согласована, как в случае, представленном на рисунке: все три афферентных потока свидетельствуют о повороте головы. Принято считать, что ощущения дискомфорта, недомогание и тошнота, наблюдаемые при вестибулярных нарушениях и морской/воздушной болезни, обусловлены, по крайней мере отчасти, так называемым сенсорным конфликтом.

Кратковременный сенсорный конфликт возникает и в нормальных обстоятельствах, например, при подавлении вестибулоокулярного рефлекса, о котором рассказывалось выше. Один из примеров — чтение в автобусе, при котором в ЦНС информация о перемещении в пространстве поступает только от вестибулярной системы, но не от зрительной (так как взгляд фиксирован на газете, см. рис. 1-8).

Не ясно, почему такой конфликт вызывает тошноту и рвоту. Предполагается, что он представляет сигнал тревоги, указывающий на плохое состояние организма и требующий изменений.

Вестибулярные нарушения, такие как острое одностороннее поражение лабиринта, также приводят к сенсорному конфликту: продолжительное ощущение вращения тела при головокружении не подкрепляется информацией от других сенсорных си-

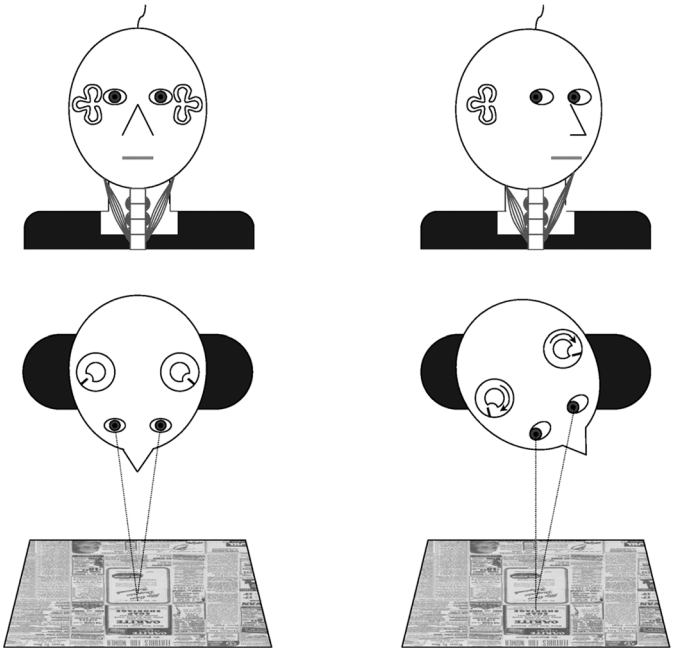

Рис. 1-9. Мультисенсорная интеграция. Поворот головы во время чтения газеты вызывает активацию вестибулярной системы, проприорецепторов шеи и зрительной системы. В представленном случае информация от всех трех систем соответствует друг другу, однако в примере, представленном на рис. 1-8, у человека, читающего газету, возникает сенсорный конфликт, поскольку информация о повороте головы поступает только от вестибулярной системы, но не от зрительной

стем. Это объясняет тот факт, что некоторые пациенты в таких случаях предпочитают закрывать глаза. Кроме того, возникает диссоциация между ожидаемыми и действительными эффектами движения. Например, в норме поворот фиксируется обоими лабиринтами, но при одностороннем поражении афферентный поток от одного из них будет отсутствовать. Поэтому больные обычно предпочитают держать голову неподвижно.

Впрочем, один только сенсорно-моторный конфликт не объясняет многие аспекты наблюдаемых симптомов. Например, чрезмерная стимуляция ЦНС соответствующими друг другу зрительными и вестибулярными афферентными потоками во время движения также приводит к локомоционной болезни (в частности, морская болезнь может возникнуть и у человека, который стоит на палубе корабля и смотрит на горизонт). Вероятно, механизм чрезмерной стимуляции обусловливает возникновение и спонтанного вестибулярного головокружения.

Вестибулярная компенсация

Одностороннее поражение лабиринта приводит к появлению патологического головокружения, нистагма, тошноты и нарушению равновесия. Даже при стойком и полном поражении (в частности, у многих пациентов с острым вестибулярным невритом) симптомы начинают уменьшаться уже через несколько дней, а через несколько недель обычно исчезают. У большинства пациентов наблюдаются постепенное исчезновение нистагма, тенденции к падениям в одну сторону и непереносимости движений головой, процесс восстановления функции пораженного лабиринта связывают с центральной компенсацией. Последнюю можно считать одним из наиболее ярких примеров центральной адаптации и пластичности ЦНС. В вестибулярной компенсации участвуют зрительная, проприоцептивная и сохранившаяся (от контралатерального лабиринта) вестибулярная афферентация, а также множество центральных интегративных структур, включая вестибулярные ядра и мозжечок. Роль высших центров, таких как кора головного мозга, изучена недостаточно.

С клинической точки зрения следует помнить, что вестибулярная компенсация — активный адаптивный процесс, и реабилитационные мероприятия фактически направлены на его усиление. Сопутствующие сенсорные нарушения (полиневропатии, снижение зрения) или нарушения функций ЦНС (при старении, цереброваскулярной патологии и др.), как и пониженная физическая активность, препятствуют компенсации периферических вестибулярных нарушений.

Пространственная ориентация и постуральный контроль

Механизмы пространственной ориентации и постурального контроля имеют много общего, даже с учетом того, что первая является перцептивным процессом, а второй — двигательным. В основе обоих процессов лежит вестибулярная, зрительная и соматосенсорная афферентация, интегрируемая на различных уровнях ЦНС. В качестве иллюстрации мультисенсорного взаимодействия при реализации постурального контроля и пространственной ориентации можно привести пример с человеком, который стоит в начинающем движение автобусе (лицом по направлению движения). При этом зрительная система зафиксирует увеличение скорости перемещения предметов за окном автобуса, отолитовая система зарегистрирует линейное ускорение,

а за счет инерционного отклонения тела назад возникнет проприоцептивная импульсация от растяжения передних мышц ног. Каждый из этих сенсорных входящих сигналов будет активировать параллельные процессы в ЦНС: корковые механизмы пространственной ориентации и нижележащие механизмы формирования рефлексов и двигательных реакций, которые позволят индивиду оставаться на месте при ускорении автобуса. На этом примере легко понять, что стимуляция любого из сенсорных каналов может приводить к дезориентации и постуральной неустойчивости, что было продемонстрировано в экспериментах. Например, вибрационное раздражение сухожилий или предъявление зрительных стимулов, имитирующих движение, вызывают иллюзию перемещения, пространственную дезориентацию и неустойчивость.

Значимость сенсорных стимулов (сенсорное «перевешивание»)

Для понимания особенностей функционирования систем пространственной ориентации и постурального контроля большое значение имеет феномен относительной значимости («веса») сенсорных стимулов. Последний подразумевает, что вклад («вес») сенсорной афферентации той или иной модальности в пространственную ориентацию или постуральный контроль варьирует в зависимости от конкретной ситуации. Простейший пример — ориентация или удержание равновесия при открытых и закрытых глазах. Очевидно, что у человека наибольший вклад в ориентацию и поддержание баланса при открытых глазах вносят зрительные стимулы, однако при закрытых глазах их значение минимально. У пациента с вестибулярными нарушениями в процессе вестибулярной компенсации увеличивается значимость зрительной и проприоцептивной афферентации. Этот механизм, несомненно, позволяет устранить нарушения, вызванные вестибулярной дисфункцией, но при этом чрезмерная значимость визуальной информации («зрительная зависимость») делает пациентов склонными к дезориентации и неустойчивости в случаях, когда зрительные стимулы противоречивы или не полностью отражают реальную обстановку, например, при перемещении окружающих предметов (также см. раздел «Визуальное головокружение» в главе 6).

Процесс сенсорного «перевешивания» оптимально функционирует при сохранности афферентации от всех трех сенсорных систем, но нарушается при выпадении стимулов от любой из них. Пациент с нарушенной проприоцептивной чувствительностью может стоять прямо с открытыми глазами, но падает, если закрывает глаза (проба Ромберга). Пациенты с двусторонними или выраженными односторонними вестибулярными нарушениями могут довольно хорошо ходить с открытыми глазами при сохранности проприоцептивной чувствительности. Однако при наличии сопутствующей полиневропатии (или при искусственном уменьшении проприоцептивной афферентации, например, если пациент стоит на мягкой поверхности, что используют как диагностическую пробу) и закрывании глаз больной не может сохранить равновесие и падает. Следует помнить, что у пожилых пациентов функциональные возможности всех трех сенсорных систем, так же как и центральных структур, снижены; поэтому нарушения равновесия весьма распространены в пожилом возрасте.