

ФИЗИОЛОГИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТИРОВКИ ЛЕТЧИКОВ**С.П. Ляшедько, А.А. Благинин, Ю.В. Сазонов***

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург

PHYSIOLOGY OF THE SPATIAL ORIENTATION OF PILOTS**S.P. Lyashedko, A.A. Blaginin, Yu.V. Sazonov***

Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg

E-mail: lyashedko.semen@gmail.com**Аннотация**

В статье рассматриваются физиологические особенности процесса пространственной ориентировки летчиков во время выполнения полетов. Представлены сенсорные системы, участвующие в этом процессе, с указанием вклада каждой из этих систем в итоговый массив информации, необходимый для поддержания пространственной ориентировки. Перечислены факторы, негативно влияющие на частоту развития нарушения пространственной ориентировки летчиков. Обоснована необходимость продолжения научных исследований по вопросам пространственной дезориентации летного состава.

Ключевые слова: пространственная ориентировка летчика, нарушение пространственной ориентировки, пространственная дезориентация, иллюзии пространственного положения, вестибулярный анализатор, зрительный анализатор, проприоцептивная чувствительность.

Abstract

The article discusses physiological features of spatial orientation of pilots during flights. The authors present sensory systems involved in this process and indicate contribution of each systems to the final array of information necessary to maintain spatial orientation. Factors that negatively influence spatial orientation of pilots are listed. The authors also background the necessity to continue researches on spatial disorientation of flying personnel.

Key words: spatial orientation of pilots, violation of spatial orientation, spatial disorientation, illusions of spatial position, vestibular analyzer, visual analyzer, proprioceptive sensitivity.

Ссылка для цитирования: Ляшедько С.П., Благинин А.А., Сазонов Ю.В. Физиология пространственной ориентировки летчиков. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2022; 1: 105–108.

Введение

Интерес к проблеме пространственной дезориентации в авиации не ослабевает. Многие исследователи занимались изучением этого вопроса, однако кардинального улучшения ситуации достичь пока не удалось. Данный факт подтверждается анализом статистики авиационных происшествий и катастроф, причиной которых явились нарушения пространственной ориентировки [1–3]. Пространственная дезориентация, описанная А.Д. Вэнсоном, возникает, когда «пилот не может правильно определить положение и перемещение своего воздушного судна или самого себя в фиксированной системе координат, обеспечиваемой поверхностью Земли и гравитационной вертикалью» [4]. Другими словами, пространственная ориентировка – это естественная способность человека сохранять ориентацию тела и/или положение по отношению к окружающей среде как во время движения, так и в покое. Эволюционно люди приспособлены к существованию и ориентировке в двухмерной среде, находясь на земле. Авиационные полеты предполагают нахождение в трехмерной среде, что может привести к сенсорным конфликтам, затрудняя или даже делая невозможным сохранение ориентации в пространстве.

Физиология пространственной ориентировки

Возникновение иллюзий пространственной ориентировки возможно во время выполнения любого полета. Среди факторов, влияющих на частоту развития нарушения пространственной ориентировки летчиков, следует выделить следующие: физические факторы, такие как погода, время суток, продолжительность полета, тип полетного задания; физиологические факторы, такие как общее состояние здоровья, текущее функциональное состояние летчика, степень утомления, токсические воздействия (алкоголь и т.д.); прочие факторы включают степень профессиональной подготовленности летчика, качество подготовки к полету и т.д. [1].

Негативное влияние будут оказывать также такие условия полета, как полеты по приборам, в очках ночного видения, ночные полеты и полеты с воздействием пилотажных ускорений и перегрузок.

Пространственная ориентировка является интегративным результатом работы трех основных сенсорных систем: зрительной, вестибулярной и проприоцептивной. Для поддержания правильной ориентировки в пространстве организм человека полагается как на точное восприятие всех трех

сенсорных систем, так и на их когнитивную интеграцию. Если информация от сенсорных систем (зрительной, вестибулярной и проприоцептивной) будет различаться по величине, направлению и частоте, результатом такого рассогласования может стать пространственная дезориентация [5].

Глаза обеспечивают визуальную и пространственную ориентировку в пространстве, включая стереоскопический компонент, дающий возможность оценки глубины и дальности пространственных ориентиров, которая будет составлять до 80% афферентного потока информации, используемого организмом для ориентировки [6].

Вестибулярный анализатор, система внутреннего уха вносят свой вклад в состав информационного массива, что составляет порядка 15% [7].

Проприоцептивная сенсорная система представлена рецепторами, расположенными в коже, мышцах, сухожилиях и суставах, которые предоставляют 5% сенсорной информации, используемой для определения ориентации [8].

Сложная координация между этими сенсорными системами затем переводится и интерпретируется мозгом. Неправильная интерпретация или неточность этих трех источников информации может привести к «межсенсорному конфликту», результатом которого будут различные иллюзии пространственного положения (зрительные или вестибулярные) [9].

Физиология сенсорных систем, участвующих в пространственной ориентировке летчика

Зрительный анализатор

Во время выполнения полета наличие визуальной ориентировки является ключевым фактором, способствующим хорошей пространственной ориентировке [10]. В данном процессе задействовано как центральное, так и периферическое зрение, действующие синергетически для установления визуальной ориентировки в пространстве.

Центральное зрение используется для точной идентификации объектов. Его приходится контролировать сознательно, это требует волевого привлечения внимания, чтобы сосредоточиться. Исходя из необходимости задействовать внимание, имеется негативный момент в том, что оно может быть отвлечено с временной потерей из поля зрения наблюдаемых ориентиров. Центральное зрение позволяет визуализировать крупные объекты, а также их характеристики. Распределение светочувствительных клеток в сетчатке неравномерное, колбочки располагаются преимущественно в центральной ее части и обеспечивают основу центрального зрения, позволяя четко распознавать объекты, а также обеспечивают цветовосприятие. Периферическое зрение обеспечено преимущественно палочками, составляющими основу периферической части сетчатки, способными различать лишь черно-белое изображение. По своей сути периферическое зрение является подсознательным процессом, не требующим сосредоточенного внимания и концентрации, соответственно, оно не может быть отвлечено. Периферическое зрение используется для сбора общей

информации об окружающей обстановке и определения динамики движения наземных ориентиров [11].

Используя визуальные ориентиры, пилот может получить информацию о расстоянии, скорости и объеме. Для определения параметров визуальных ориентиров используются несколько физиологических инструментов, таких как монокулярное зрение, бинокулярное зрение, бинокулярный параллакс движения и размер проецируемого изображения на сетчатке.

Наблюдая визуальный объект, глаз подсознательно устанавливается таким образом, чтобы изображение объекта проецировалось в наиболее чувствительном месте сетчатки – центральной ямке желтого тела. Размер данного образования достаточно небольшой, из-за чего угол наилучшего видения составляет $1,5^\circ$, зона ясного видения – 15° , а зона максимального видения – 35° . По этой причине объекты, размер которых превышает угол ясного зрения, будут рассматриваться по частям только путем поворота глазного яблока в глазнице. При монокулярном зрении восприятие глубины будет происходить только по косвенным признакам (длина тени, оценка напряжения глазных мышц при аккомодации и т.д.) либо на основе законов перспективы, когда о расположении нескольких объектов можно судить на основе сравнительного анализа размеров их обращений на сетчатке. В конечном итоге монокулярное зрение позволяет расширить поле зрения за счет ограниченного восприятия глубины пространства, оно оценивается по разнице величины знакомых предметов, перекрыванию или наложению предметов, перспективе и бинокулярному параллаксу движения. Кроме того, при оценке глубины наблюдаемого визуального объекта помогает жизненный опыт, однако косвенные признаки оценки глубины наблюдаемого объекта дают приближенное, приблизительное, а иной раз и неверное представление о расстояниях, что в конечном итоге может привести к возникновению иллюзий пространственного положения.

Бинокулярное зрение позволяет получить слияние изображений от обоих глаз в единый зрительный образ, дающее объемное, трехмерное изображение. Необходимым условием бинокулярного зрения являются зрительный перекрест и точное сведение зрительных осей на рассматриваемом предмете, т.е. конвергенция. Немаловажную роль играет правильное положение глазных яблок в глазнице. Данный вид зрения позволяет определить все пространственные характеристики объектов, такие как направление, удаленность и глубина (восприятие пространства и оценка расстояния). Особенность восприятия объектов или местности на сетчатке обоих глаз заключается в способности эффективно распознавать отличия между изображениями на расстоянии до 200 метров до объекта для определения местоположения и движения объекта, при превышении этого расстояния способность распознавать отличия нивелируется [11].

Бинокулярный параллакс движения – способность воспринимать удаленность визуального объекта, в основе данного явления лежит бинокулярное

зрение. Это возможно при наличии различий в проекционных отображениях объекта на сетчатке правого и левого глаза, а с физической точки зрения это разность углов, под которыми объект виден правому и левому глазу, имеющая название «диспаратность». Минимальная диспаратность, позволяющая воспринять различия в удаленности объектов, определяет стереоскопическую остроту зрения и составляет 15 угл. сек. Диапазон диспаратности, при котором объект будет восприниматься слитно, составляет 15–30 угл. сек., при больших величинах объект становится лабильным [12].

Размер проецируемого изображения на сетчатке также влияет на восприятие окружающего пространства. Так, более крупные объекты воспринимаются ближе, чем они расположены в реальности, а изображения меньшего размера воспринимаются более удаленными.

Кроме вышеперечисленного, визуальную ориентировку в пространстве помогают обеспечивать также и другие характеристики окружающего пространства, такие как различные детали и тени, различная освещенность, текстура и другие дополнительные детали.

В дополнение к этому в основе поддержания правильного образа полета лежит восприятие авиагоризонта, воспринимаемого визуально при наличии такой возможности, а при ее отсутствии — доверие показаниям пилотажно-навигационных приборов самолета.

Зрительные иллюзии пространственного положения знакомы всем без исключения летчикам и часто являются результатом потери или искажения окружающих визуальных ориентиров [13].

Вестибулярный анализатор

Вестибулярный анализатор используется для поддержания пространственной ориентировки и обеспечивает чувство равновесия относительно гравитационной вертикали Земли. Отолитовый аппарат, представленный двумя перепончатыми мешочками, расположен в пространстве таким образом, что способен реагировать не только на вектор гравитации и его направление, но и на все виды прямолинейного движения.

При выполнении прямолинейного горизонтального полета на постоянной скорости эндолимфа не сдвигается, следовательно, нет движения ресничек волосковых клеток. Данный факт будет интерпретирован телом летчика как нахождение в среде без углового ускорения. Волосковые клетки действуют как акселерометры и при движении на постоянной скорости остаются деактивированными [14].

При выполнении поворота момент инерции будет воздействовать на эндолимфу полукружных каналов, которая ненадолго будет оставаться неподвижной, тем самым натягивая движущиеся реснички волосковых клеток, что и будет приводить к точному восприятию поворота. Однако нельзя забывать, что если данная эволюция самолета будет сохраняться дольше 10–20 секунд, то эндолимфа «догонит» полукружный канал, что приведет к возврату волосковых клеток в нейтральную вертикальную

ориентацию. Данное явление может быть опасно тем, что воздушное судно еще выполняет маневр, но пилот при этом может ошибочно интерпретировать его завершение, поскольку вестибулярный анализатор не сможет распознать угловое ускорение. При возврате к прямолинейному горизонтальному полету ситуация повторится вновь, волосковые клетки будут двигаться вместе с выполнением разворота, однако момент инерции будет ненадолго удерживать эндолимфу неподвижно. Это будет ошибочно воспринято летчиком как поворот в противоположном направлении, в то время как самолет возвращается из первоначального разворота.

Физиологические возможности волосковых клеток вестибулярного анализатора таковы, что они способны воспринимать изменение ускорения, однако не способны отличить состояние покоя от постоянной скорости. Эта их особенность является основой развития вестибулярных иллюзий, в особенности когда нет надежных внешних зрительных ориентиров [7].

Проприоцептивная чувствительность

Данный вид чувствительности дает представление о позе и относительном положении тела по отношению к окружающей среде. Изолированное межсенсорное рассогласование между проприорецепторами и окружающей средой не приведет к нарушению пространственной ориентировки, однако может усугубить уже развившуюся пространственную дезориентацию, если также будут задействованы зрительная и вестибулярная сенсорные системы [15].

Заключение

История авиации началась в начале 1900-х гг., активный интерес к причинам авиационных происшествий и катастроф возник в середине прошлого века в связи с бурным развитием авиационной техники. Существующие системы профилактики пространственной дезориентации летного состава позволили добиться определенного снижения показателей аварийности на авиационном транспорте, но статистика показывает, что эти цифры остаются практически неизменными вот уже несколько последних десятилетий. Следует признать, что пространственная дезориентация летного состава до сих пор является основной причиной авиационных катастроф и затрагивает все виды авиации — не только военную, но и гражданскую. Точные механизмы развития нарушения пространственной ориентировки до сих пор остаются объектом интереса авиационных специалистов всего мира. Потеря пространственной ориентировки почти всегда является результатом сбоя в системе «летчик — самолет — среда». Вероятнее всего, причина кроется в нарушении процесса поддержания образа полета, связанном с нарушением обработки поступающей от органов чувств информации. Это нарушение вызвано несоответствием между зрительным, вестибулярным и проприоцептивным анализаторами либо их когнитивной обработкой, что может привести к различию в восприятии между фактическим и воспринимаемым положением самолета. Но не каждое несоответствие

обязательно будет завершаться развитием иллюзий пространственного положения. В случае распознавания межсенсорного несоответствия летчик может сознательно или неосознанно игнорировать эти ощущения и полагаться на показания приборов. Авиационные происшествия и катастрофы будут происходить до тех пор, пока члены экипажа будут не в состоянии преодолеть иллюзорные ощущения либо не будут знать об этом.

Необходимость продолжения научных исследований по вопросам пространственной дезориентации летного состава не вызывает сомнений. Решение данной научной задачи необходимо вести в следующих направлениях: изучение особенностей пространственной ориентировки летчиков различных родов авиации в зависимости от их психофизиологических характеристик; выявление индивидуальных особенностей, оказывающих наибольшее влияние на качество пространственной ориентировки; разработка методологии подготовки летного состава по вопросам пространственной дезориентации и экспериментальное обоснование средств и методов специальной подготовки летного состава по пространственной дезориентации летного состава; разработка и обоснование системы профилактики пространственной дезориентации летного состава с учетом индивидуального и дифференцированного подхода.

Разработка системы профилактики пространственной дезориентации летного состава позволит снизить аварийность на авиационном транспорте и тем самым повысит общую безопасность полетов.

Литература

1. Жданько И.М., Благинин А.А., Чистов С.Д., Ляшедько С.П. Анализ авиационных происшествий по причине нарушения пространственной ориентировки и иллюзий пространственного положения за период 2009–2013 гг. // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2018. – Т. 52. – № 4. – С. 55–60. [Zhdanko I.M., Blaginina A.A., Chistov S.D., Lyashedko S.P. Analysis of accidents due to the violation of spatial orientation and illusions of spatial position for the period of 2009–2013 // *Aerospace and environmental medicine*. – 2018. – V. 52. – № 4. – P. 55–60. In Russian].
2. Gibb R., Ercoline B., Scharff L. Spatial disorientation: decades of pilot fatalities // *Aviat Space Environ Med*. – 2011. – V. 82. – № 7. – P. 717–724.
3. Poisson R.J., Miller M.E. Spatial disorientation mishap trends in the US Air Force 1993–2013 // *Aviat Space Environ Med*. – 2014. – V. 85. – № 9. – P. 919–924.
4. Benson A.J. Spatial disorientation – general aspects // *Aviation medicine* / Ed. by J. Ernstig, P. King. 2nd edn. – London: Butterworths and Co., 1988. – P. 419–436.
5. Бухтияров И.В., Воробьев О.А., Хоменко М.Н. Взаимодействие зрительной, вестибулярной и проприоцептивной систем в процессе пространственной ориентировки человека в условиях воздействия боковых и продольно-боковых перегрузок // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2002. – Т. 36. – № 6. – С. 3–8. [Bukhtiyarov I.V., Vorobyev O.A., Khomenko M.N. Interaction of visual, vestibular and proprioceptive systems in the process of spatial orientation of a person under the influence of lateral and longitudinal-lateral overloads // *Aerospace and environmental medicine*. – 2002. – V. 36. – № 6. – P. 3–8. In Russian].
6. Чунтул А.В., Лапа В.В., Давыдов В.В. Особенности пространственной ориентировки летчика при использовании телевизионной системы обзора вне кабинного пространства // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2013. – Т. 47. – № 5. – С. 12–16. [Chuntul A.V., Lapa V.V., Davydov V.V. Features of the pilot's spatial orientation when using a television system for viewing the extra-cabin space // *Aerospace and environmental medicine*. – 2013. – V. 47. – № 5. – P. 12–16. In Russian].
7. Чистов С.Д. Вестибулярные аспекты пространственной дезориентации в авиационном полете в условиях ограниченной видимости // *Проблемы безопасности полетов*. – 2016. – № 9. – С. 38–45. [Chistov S.D. Vestibular aspects of spatial disorientation in aviation flight in conditions of limited visibility // *Problems of flight safety*. – 2016. – № 9. – P. 38–45. In Russian].
8. Stott J.R. Orientation and disorientation in aviation // *Extreme physiology & medicine*. – 2013. – V. 2. – № 1. – P. 1–11.
9. Чистов С.Д., Филатов В.Н., Хоменко М.Н. Иллюзии пространственного положения в маневренных полетах // *Проблемы безопасности полетов*. – 2014. – № 5. – С. 26–27. [Chistov S.D., Filatov V.N., Khomenko M.N. Illusions of spatial position in maneuvering flights // *Problems of flight safety*. – 2014. – № 5. – P. 26–27. In Russian].
10. Комендантов Г.Л. Физиологические основы пространственной ориентировки. – Л.: ВМА, 1959. – 64 с. [Comendantov G.L. Physiological basis of spatial orientation. – L.: WMA, 1959. – 64 p. In Russian].
11. Servos P., Goodale M.A., Jakobson L.S. The role of binocular vision in prehension: a kinematic analysis // *Vision research*. – 1992. – V. 32. – № 8. – P. 1513–1521.
12. Watt S.J., Bradshaw M.F. The visual control of reaching and grasping: binocular disparity and motion parallax // *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. – 2003. – V. 29. – № 2. – P. 404.
13. Sánchez-Tena M.Á., Alvarez-Peregrina C., Valbuena-Iglesias M.C. et al. Optical illusions and spatial disorientation in aviation pilots // *J. Med. Syst*. – 2018. – V. 42. – № 5. – P. 1–5.
14. Воробьев О.А., Иванов В.В. Формирование образа пространственного положения при возникновении иллюзий вестибулярного генеза // *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. – 1987. – № 2. – С. 8–12. [Vorobyov O.A., Ivanov V.V. Formation of the image of spatial position in the event of illusions of vestibular genesis // *Space biologist and aerospace medicine*. – 1987. – № 2. – P. 8–12. In Russian].
15. Ponzo S., Kirsch L.P., Fotopoulou A., Jenkinson P.M. Balancing body ownership: visual capture of proprioception and affectivity during vestibular stimulation // *Neuropsychologia*. – 2018. – V. 117. – P. 311–321.