

**Львівський державний університет фізичної культури
ім. Івана Боберського**

Кафедра анатомії та фізіології

Лекція № 5

ФІЗІОЛОГІЯ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ

з навчальної дисципліни

«ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ»

Рівень вищої освіти – бакалавр

Спеціальність – 017 „Фізична культура і спорт”

Склала: доц. Бергтраум Д.І.

Затверджена на засіданні
кафедри анатомії та фізіології

"30" серпня 2021 р.

протокол № 1

Тема лекції: ФІЗІОЛОГІЯ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ

План лекції:

1. Вступ.
2. Загальне уявлення про сенсорні системи. Теорія відображення в діяльності сенсорних систем.
3. Вчення І.П. Павлова про аналізатори.
4. Принципи будови та функції аналізаторів. Класифікація та основні властивості рецепторів.
5. Зорова, слухова, вестибулярна та рухова сенсорні системи.
6. Роль сенсорних систем при спортивній діяльності.
7. Висновок.

Лекція розрахована на 2 академічні години.

Навчальні та виховні цілі: розглянути основні принципи структурно-функціональної організації сенсорних систем, фізіологічні характеристики рецепторного, провідного та центрального відділів, роль сенсорних систем у спортивній діяльності.

Матеріальне забезпечення: таблиці, слайди, мультимедійні презентації.

Координаційна діяльність організму заснована на безперервному потоці інформації з зовнішнього середовища. Саме життя залежить від того, наскільки успішно ми відчуваємо світ, в якому рухаємось, і наскільки точно ці відчуття керують нашими рухами. Ми уникаємо загрозливих подразників – неймовірної спеки, звуків або запаху хижака – і прагнемо до комфорту і благополуччя. Здатність відчувати і рухатись – це дві основні властивості всіх живих організмів. Але істоти, які мають нервову систему, в своїй здатності відчувати і рухатись суттєво переважають більш прості організми.

Спеціальні органи або клітини, які сприймають навколишні подразники (стимули) називають рецепторами. Імпульси від рецепторів по аферентних волокнах поступають в ЦНС. Лише завдяки інформації, що доноситься органами рецепції, можуть здійснюватись як прості рефлекси, так і різні акти поведінки і психічної діяльності.

І.М.Сеченов в своїй праці “Рефлекси головного мозку”, писав, що “психічний акт не може з’явитись в свідомості без зовнішнього від чутливого збудження”. Вся сукупність нейронів, які приймають участь в сприйнятті подразнень і проведенні збудження, а також сенсорні клітини кори великих півкуль головного мозку, І.П. Павлов рахував єдиною системою, яку він позначив терміном “аналізатор”. Рецептори – це периферична ланка аналізатора. Аферентні нейрони і провідні шляхи складають провідниковий відділ аналізатора. Зони кори великих півкуль мозку, що сприймають збудження від рецепторів, представляють собою центральні закінчення аналізаторів.

Але назва “аналізатор” лише частково відображає функції, що вони виконують, бо крім сприйняття зовнішніх і внутрішніх подразнень і їх аналізом здійснюються складні процеси синтезу і тому більш точно відображає суть термін “сенсорні системи”. Тому ці терміни “аналізатор” і “сенсорна система” використовують як синоніми.

Структура і діяльність сенсорних систем досить складна. Подразники викликають збудження відповідного рецептора, яке передається в вищі відділи ЦНС декількома шляхами. Це специфічний та неспецифічний шляхи проведення збудження. Специфічний шлях проведення збудження включає:

1. рецептор
2. перший чутливий нейрон (поза ЦНС, спинальні, яремні, спіральні та інші ганглії черепно-мозкових нервів)
3. другий нейрон (спинний, довгастий або середній мозок)
4. третій нейрон – в зорових горбах (проміжний мозок)
5. четвертий нейрон – проекційна зона даної сенсорної системи кори великих півкуль.

Крім цього, в середньому, спинному і довгастому мозку проходить переключення на шляхи, що ведуть в інші відділи головного мозку, зокрема, в мозочок, ретикулярну формацію та інші. А з ретикулярної формації збудження по неспецифічних шляхах прямує у всі відділи кори великих півкуль.

Аналіз подразнень проходить у всіх ланках сенсорної системи. Сигнали, що поступають в ЦНС через сенсорні системи, використовуються для регуляції

функцій в організмі, в одних випадках, викликаючи нові відповіді, в других – корегуючи протікання діяльності, яка здійснюється в даний момент.

В залежності від розташування в тілі і характеру сприймаючих подразників всі рецептори ділять на три типи:

1. екстерорецептори, що реагують на подразнення, які поступають із зовнішнього середовища (звук, світло).
2. інтерорецептори – сприймають подразнення, які поступають із внутрішнього середовища організму (барорецептори, хеморецептори)
3. пропріорецептори – сприймають подразнення, які пов'язані з положенням тіла і рухом частин тіла та скороченням м'язів.

Класифікують також ще рецептори за природою подразника: фізичні, хімічні, механічні і т.п.

Сенсорні системи мають ряд властивостей: адаптація, сумація, ірадіація, індукція, слідові процеси. Приклади...

ЗОРОВА СЕНСОРНА СИСТЕМА

Зорова сенсорна система служить для сприйняття і аналізу видимої частини спектру (380 – 760 нм) світлових подразнень. Периферичним відділом цієї системи є очне яблуко. Очне яблуко – це сферична камера діаметром біля 2.5 см. Стінки очного яблука складаються з **трьох оболонок**: **зовнішня волокниста** (фіброзна) – складається з білкової оболонки або склери, яка спереду переходить в прозору рогівку, **судинна** – вистеляє очне яблуко, містить кровоносні судини, переходить у війкове тіло і рогівка та **внутрішня – сітківка**, на якій знаходяться фоторецептори (палички і колбочки).

Основні складові частини очного яблука: склера, рогівка, кон'юктива, повіка, м'язи очного яблука, кришталік, райдужка, зіниця, скловидне тіло, центральна ямка, зоровий нерв (рис. 9). Робота ока базується на тих же принципах, що і робота фотокамери:

1. контролює потік світла, що проходить в очне яблуко (зіниця) ;
2. фокусує зображення предметів зовнішнього світу з допомогою системи лінз (кришталік, скловидне тіло);
3. реєструє зображення на чутливій поверхні (рецептори на сітківці);

4. переробляє побачене зображення у внутрішній образ видимої картини світу (зорові нервові центри кори великих півкуль).

Інтенсивність паралельного світлового пучка променів, який проникає в очне яблуко, регулює зіниця, далі промені проходять через заломлюючу систему очного яблука, фокусуються на сітківці і викликають збудження рецепторів (паличок і колбочок).

Рефлекторний механізм з допомогою якого промені світла, які виходять із об'єкта, фокусуються на сітківці називають **акомодацією**. Цей механізм включає два процеси: рефлекторна зміна діаметру зіниці і заломлення (рефракція) світла. Нормальне око людини точно фокусує світло від об'єктів, що знаходяться на відстані від 25 см до безмежності. На сітківці об'єкт відображений в зменшеному і перевернутому вигляді, але це не заважає правильному сприйняттю, так як справа не в просторовому зображенні на сітківці, а в інтерпретації мозком. Імпульс, який виникає в рецепторах передається в кору великих півкуль **специфічним нервовим шляхом** проведення імпульсу. Перші два нейрони зорової сенсорної системи знаходяться в сітківці. Нервові волокна другого нейрона в складі зорового нерву виходять з очного яблука і проходять до зорових горбів проміжного мозку, де локалізований третій нейрон. Четвертий нейрон знаходиться в потиличній долі кори великих півкуль.

Рецептори зорової сенсорної системи (палички і колбочки) розміщені на сітківці. Паличок на сітківці міститься більше, ніж колбочок (120 міл. проти 6-7 міл.), крім цього вони розміщені нерівномірно. Тонкі витягнуті палички (50 x 3 мкм) рівномірно розподілені на всій сітківці, крім центральної ямки (жовтої плями), де переважають видовжені конічні колбочки (60 x 1,5 мкм). Так, в центральній ямці колбочки дуже щільно упаковані (150000 на мм²), ця частина сітківки відрізняється максимально високою гостротою зору.

Гострота зору визначається найменшою відстанню між двома крапками , при якій ще можна окремо розрізнити ці крапки. Нормальне око людини розрізняє дві крапки під кутом в 60 кутових секунд. Гострота зору, визначена за спеціальною таблицею, позначається відносними величинами, і нормальна гострота зору прийнята за одиницю (означає відстань досліджуваного від таблиці в 5 метрів, при якій гострота зору буде складати одну кутову хвилину).

Поряд з гостротою зору важливе значення має периферичний зір або поле зору. **Поле зору** – це границі видимого простору, які сприймаються нерухомим очним яблуком. Дослідження поля зору проводиться за допомогою периметра Ерстеда і визначається в градусах. Найбільше поле зору для білого кольору. Межі поля зору для білого кольору в середньому складають: до верху – 65, до низу – 75, до носа – 65, до виска – 90. Поле зору для кольорових об’єктів значно менше, ніж для білих. Це зумовлено тим, що кольорові об’єкти сприймаються виключно колбочками, які на периферії сітківки відсутні.

В той же час палички володіють більшою чутливістю до світла і збуджуються при більш слабкому освітленні. Палички містять тільки один зоровий пігмент, не здатні розрізняти колір, а тільки “світло” – “тінь” і використовуються переважно в нічному баченні. Сприйняття паличками відрізняється меншою гостротою, так як палички розміщені менш щільно і імпульси від них піддаються конвергенції, що забезпечує високу чутливість, необхідну для нічного бачення. При зменшенні кількості світла, що надходить в очне яблуко, чутливість рецепторів зорової сенсорної системи зростає і очі адаптуються до темноти. Це явище називається “темною” адаптацією. Тому людина, потрапивши зі світлого в темне приміщення, спочатку нічого не бачить, а лише згодом (30-40 хвилин) починає розрізняти предмети.

Колбочки містять три зорові пігменти і це дозволяє їм сприймати колір. Вони збуджуються головним чином при денному світлі. Існує три типи колбочок – “червоні”, “зелені” і “сині”, які вміщують різні пігменти і за даними електрофізіологічних досліджень збуджується при поглинанні видимого світла з різною довжиною хвиль. Кольоровий зір пояснюють з позиції трьох компонентної теорії, згідно якої відчуття різних кольорів і відтінків визначається ступенем подразнення кожного типу колбочок світлом, що відбивається від об’єкта. Так, наприклад, при одночасному збудженні всіх типів колбочок і з однаковою силою виникає відчуття білого кольору. Первинне розрізнення кольорів здійснюється в сітківці, але кінцеве відчуття кольору, який буде сприйнято, визначається інтегральними функціями головного мозку.

Повна відсутність або недостатність колбочок будь-якого типу може приводити до різних форм кольорової сліпоти або аномального кольорового

відчуття. Наприклад, люди, у яких відсутні колбочки, що збуджуються від червоних або зелених променів світла, не розрізняють червоний або зелений кольори, чи їх відтінки. Людина з нормальним кольоровим зором легко розрізняє кольорові цифри спеціальних таблиць, а особи з порушеним кольоровим відчуттям бачать інше число або зовсім не бачать ніякої цифри.

Кольорова сліпота передається спадково як рецесивний признак, зв'язаний з Х-хромосоною. Серед чоловіків біля 2 % не розрізняють червоний колір і 6 % - зелений, тоді як серед жінок аномалії кольорового зору зустрічається тільки у 0,4 %.

СЛУХОВА ТА ВЕСТИБУЛЯРНА СЕНСОРНІ СИСТЕМИ

Вухо савців представляє собою орган відчуття, що містить механорецептори, які чутливі до сили земного тяжіння, до переміщення в просторі і до звукових коливань. Рух і положення голови відносно напрямку сили земного притяжіння фіксується вестибулярним апаратом, який складається з півколових каналів і двох невеликих мішечків – кругового і овального. Всі решта структури для сприйняття, підсилення і переробки звукових подразнень в електричні імпульси, які, поступаючи в слухові зони мозку, викликають слухові відчуття.

Вухо людини складається з трьох відділів – **зовнішнього, середнього і внутрішнього вуха** (рис. 10). **Зовнішнє вухо** складається з вушної раковини, яка фокусує і направляє звукові хвилі в зовнішній слуховий прохід. Звукові хвилі викликають коливання барабанної перетинки, яка відділяє зовнішнє вухо від середнього. В **середньому вусі** знаходяться три слухові кісточки – молоточок, наковальня і стріменечко, які передають коливання барабанної перетинки на перетинку овального вікна, яка відділяє середнє вухо від внутрішнього. При цьому звукові коливання, проходячи через середнє вухо підсилюються ~50 разів завдяки системи важилів, що утворюється слуховими кісточками. Заповнене повітрям середнє вухо з'єднується через євстахієву трубу з носоглоткою і це запобігає пошкодженню барабанної перетинки при перепадах атмосферного тиску. **Внутрішнє вухо** знаходиться в складній системі каналів і порожнин, що утворюють кістковий лабіринт, і заповнених

рідиною – перилімфою; всередині кісткового лабіринту знаходиться перетинчатий лабіринт заповнений ендолімфою і містяться чутливі рецептори. Рецептори слухової сенсорної системи (волоскові клітини) знаходяться в кортієвому органі, який розміщений на основній мембрані в порожнині середньої сходини, а рецептори вестибулярної сенсорної системи – в овальному і круглому мішечках та ампулах півколових каналів.

Механізм передачі звукових коливань (рис. 11). Звукові коливання надходять через вушну раковину і зовнішній слуховий прохід на барабанну перетинку, яка передає їх на слухові кісточки, а вони, діючи як важелі, передають коливання на мембрану овального вікна. Звідтіля коливання передаються перилімфі нижньої сходини і відповідно основній мембрані. Основна мембрана коливаючись викликає збудження розміщених в ній волоскових клітин (рецепторів) кортієвого органу. Це збудження передається в ЦНС **специфічним нервовим шляхом**. Клітини перших нейронів слухової сенсорної системи розміщені в спіральному вузлі, другого – в довгастому мозку, третього – в зорових горбах, четвертого – в скроневій долі кори великих півкуль головного мозку.

Сприйняття звуку базується на резонансній теорії Г. Гемгольца. Звукові коливання різної частоти, що передаються в завитку через звукопровідний апарат, викликають в наслідок резонансу коливання різних волокон основної мембрани. На сьогодні вважають, що резонують не волокна основної мембрани, а стовбур рідини, що знаходиться в завитці, і ці коливання передаються волосковим клітинам основної мембрани.

Вуху людини сприймає звукові коливання з частотою від 10 до 20 тис. Гц, собака – 40 тис Гц, летючі миші – 100 тис. Гц. Частота звукових коливань людської мови складає від 500 до 3000 Гц. Сила звуку визначається в белах або децибелах (0.1 бела). Діапазон сили звуків, що сприймається людиною складає від 1 до 140 децибел (хід механічного годинника 20 дб, шум при русі трамвая 70-75 дб, сила звуку грому 120 дб).

Поріг відчуття звуку для різних звукових частот неоднаковий і найкращий в діапазоні від 1000 до 5000 Гц. Слухова сенсорна система досить добре адаптується, змінюючи пороги чутливості в сотні і навіть мільони раз.

Точність визначення місця знаходження джерела звуку досить висока (1*-2*) при бінауральному сприйнятті звуку і значно менша (5*-10*) при моноуральному.

Вестибулярна сенсорна система. Функції вестибулярної сенсорної системи пов'язані з впливом на організм механічних подразників: дія сили земного притягіння та прискорення прямолінійного і центробіжного характеру при зміні положення голови або всього тіла. Чим і як сприймаються подразнення вестибулярною сенсорною системою? В апараті переддвір'я на дні маточки і на внутрішній стінці мішечка присутні так звані статичні горбки в області яких розміщені рецептори (волоскові клітини), що переплітаються з опорними клітинами. Важливою частиною сприймаючого апарату переддвір'я являється **отолфтовий прилад**. В ньому волоски опорних клітин переплітаються разом і склеюються, утворюючи щільну пластинку – **отолітову мембрану**, на поверхні якої знаходяться отолітові кристали (солі вуглекислого і фосфорнокислого кальцію).

Під дією сили притягіння при переміщенні тіла або рухів голови отолітова мембрана може вільно переміщатись в ендолімфі мішечка або маточки і здійснює різний тиск на рецепторні клітини (волоскові клітини) в різних частинах статичного горбка. Тим самим змінюється характер сигналізації від апарату переддвір'я в центральну нервову систему. Перший нейрон **специфічного нервового шляху** проведення імпульсів вестибулярної сенсорної системи розміщений в вестибулярних гангліях. Вестибулярний нерв приєднується до слухового і в його складі входить в довгастий мозок, де знаходиться другий нейрон. Далі імпульс іде до третього нейрона, який знаходиться в зорових горбах. Четвертий нейрон розміщений в скроневій долі кори великих півкуль. Вестибулярна сенсорна система тісно пов'язана з мозочком, який регулює її функціональний стан.

Рефлекси, які викликані подразненням рецепторів вестибулярної сенсорної системи, мають важливе значення для аналізу положення і переміщення тіла в просторі, для підтримання рівноваги і зміни тону м'язів, а також впливають на вегетативні функції. До вестибулярних рефлексів відносять "ліфтний рефлекс" при швидкому підйомі і спуску. При цьому спостерігається рефлекторне підвищення тону згиначів кінцівок, тулуба і шиї, крім того

знижується тонус їх розгиначів. На початку підйому і при закінченні спуску проходить згинання кінцівок, шиї і тулуба, а при закінченні підйому і на початку спуску - їх розгинання.

При кутовому і додатковому прискоренні виникає ністагм очних яблук і голови. Крім ністагму очей і голови під час і після обертання спостерігається зміна і перерозподіл тону м'язів і, як наслідок, людина не завжди може йти прямолінійно і відхиляється в сторону на якій зменшується тонус м'язів. Також при подразненні рецепторів вестибулярної сенсорної системи в організмі можуть спостерігатися вегетативні рефлекторні зрушення: головокружіння, нудота, почервоніння шкіри, виступ поту.

Рухова сенсорна система

Рухова сенсорна система безпосередньо відображає роботу різних ланок опорно-рухового апарату. Підтримуючи позу тіла, здійснюючи різноманітні рухи рухова сенсорна система інформує, за типом зворотнього зв'язку, ЦНС про степінь скорочення чи розслаблення м'язів, про положення в суглобах, про розтягування зв'язок і сухожилів. Незначна імпульсація від рецепторів рухової сенсорної системи в стані спокою забезпечує підтримання тону м'язів. При відсутності зворотніх зв'язків через рухову сенсорну систему різко порушується координація рухів (наприклад, "спинна сухотка" – переродження нервових волокон пропріорецептивної чутливості). Про роль м'язової чутливості ("темного м'язового відчуття") для координації рухів та його значення для просторового сприйняття навколишнього світу звертав увагу ще І.Сеченов.

Механорецептори (пропріорецептори) рухової сенсорної системи знаходяться в сухожилках, суглобово-зв'язковому апараті і м'язах. Всіх їх поділяють на три типи: тільця Гольджі, тільця Паччіні та інтрафузальні м'язові волокна. **Тільця Гольджі** – це просте розгалуження закінчень аферентних нервових волокон, які розміщені в сухожилках і частково в м'язових волокнах. **Тільця Паччіні** – це нервові закінчення, які розміщені в фасціях, суглобових поверхнях і суглобових сумках та сухожилках. Особливі м'язові волокна – **інтрафузальні волокна**, які відрізняються від звичайних – екстрафузальних

м'язових волокон менш вираженою посмугованістю, одним кінцем прикріплюються до перимізію звичайного м'язового волокна, другим – до сухожилка (рис. 12). Така фіксація забезпечує напруження і зміну товщини центральної частини інтрафузального волокна при розтягненні (розслабленні) екстрафузального волокна.

Тільця Гольджі і Паччіні збуджуються при скороченні м'язів, зміні кута в суглобах, а інтрафузальні волокна – переважно при розслабленні (розтягуванні) м'язів. Отже, в ЦНС поступає інформація при будь-якому стані скелетних м'язів.

Адаптація в м'язових волокнах рухового апарату виражена досить слабо. Така особливість рухової сенсорної системи (до незначної адаптації) має певне біологічне значення, так як ряд м'язів безперервно функціонують на протязі багатьох хвилин і навіть годин. Якщо б рухова сенсорна система легко адаптувалась, то зниження порогів чутливості порушувало б нормальне здійснення зворотніх зв'язків і координацію рухів.

Поріг збудливості інтрафузальних веретен регулюється ЦНС. До скелетних м'язів підходять два типи аферентних нервових волокон: альфа-волокна (їх ~ 70 %) і гама-волокна (їх ~ 30 %). Імпульси, що надходять від мотонейронів по альфа-волокнах (діаметр 9-13 мк), викликають скорочення м'язу; імпульси від гама-волокон (діаметр 3-6 мк) не викликають загального скорочення м'язів, а викликають скорочення тільки інтрафузальних веретен, пригнічуючи збудливість рецепторів рухової сенсорної системи.

Збудження рецепторів рухової сенсорної системи передається по аферентних волокнах **специфічним нервовим шляхом** до першого нейрона, який розміщений в спинальних гангліях. Другий нейрон може знаходитись в спинному, довгастому або середньому мозку. Третій нейрон розміщений в зорових горбах і четвертий нейрон - в передній центральній звивині кори великих півкуль.

М'язова діяльність – це дуже важливий стимулятор роботи вегетативних органів. Імпульси, які поступають в ЦНС через рухову сенсорну систему, суттєво впливають на роботу вегетативних органів і ці впливи здійснюються як безумовно, так і умовно рефлексорним механізми.

Яка ж роль різних сенсорних систем при занятті фізичними вправами?

Як і для будь-якого виду діяльності, для спортивної діяльності має вирішальне значення функціональний стан більшості сенсорних систем. Виконання фізичних вправ неможливе при розладі або пошкодженні рухової та вісцеральних сенсорних систем, або воно суттєво звужено при виключенні функцій зорової, слухової, вестибулярної і тактильної сенсорних систем. В будь-якому із видів спорту необхідно узгоджене функціонування декількох сенсорних систем. При такій взаємодії між ними за механізмом умовного рефлексу складаються відповідні взаємовідношення, що носять специфічний характер при відповідній комбінації багатьох подразників, які діють на організм спортсмена при тренувальній чи змагальній діяльності. Так, у спортсменів формується “відчуття опори” (снігу, води, землі), “відчуття снаряду” (м’яча, ракетки, ядра, штанги). Такі відчуття дозволяють спортсмену досконало координувати свою діяльність з врахуванням змін умов довкілля.

Заняття фізичними вправами і спортивне тренування покращує функціональний стан багатьох сенсорних систем. Наприклад, зростає збудливість і зменшується поріг чутливості пропріорецепторів рухової сенсорної системи у гімнастів і важкоатлетів (ліктьового, плечевого суглобів), у футболістів, слаломістів (гомілкового суглобу), зорової сенсорної системи у спортивних іграх, вестибулярної – у акробатів, плавців, гімнастів та інших.

Рекомендована література

Основна:

1. Вовканич Л. С. Довідник для студентів із дисципліни «Нормальна фізіологія людини» / Л. С. Вовканич, Д. І. Бергтраум. – Львів : ЛДУФК, 2018. – 32 с.
2. Вовканич Л. С. Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту : навч. посіб. для перепідготовки спеціалістів ОКР "бакалавр" : у 2 ч. / Вовканич Л.С., Бергтраум Д. І. – Львів : ЛДУФК, 2011 – Ч. 1. – 344 с.
3. Коритко З. І. Загальна фізіологія / Коритко З. І., Голубій Є. М. – Львів, 2002. – 172 с.
4. Физиология человека / под ред. Н. В. Зимкина. – Москва : Физкультура и спорт, 1975.
5. Физиология мышечной деятельности / под ред. Я. М. Коца. – Москва : ФиС, 1982.

6. Кучеров І. С. Фізіологія людини і тварин. – Київ : Вища школа, 1991. – С. 3– 33.
7. Дж.Х. Уилмор, Д.Л. Костилл. Физиология спорта и двигательной активности. – Киев : Олимпийская литература, 1997. – 503 с.
8. Фізіологія людини : навч. посіб. / [Яремко Є. О., Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І., Коритко З. І., Музика Ф. В.]. – Вид. 2-ге, допов. – Львів : ЛДУФК, 2013. – 207 с.