

Структурни и функционални механизми на пенилната ерекција

Доц. д-р Маја Софрониевска Главинов

- *Универзитетска клиника по хируршки болести „Св.Наум Охридски“–Скопје*
- *Факултет за медицински науки, Универзитет „Гоце Делчев“–Штип*

Анатомска градба и структура

Ерекtilни Цилиндри

- **Corpora Caverosa (2)** составени од:
 - Мрежа од васкуларни простори (синусоиди)
 - Обложени со ендотел
 - Опкружени со цврста обвивка – tunica albuginea
- **Corpus Spongiosum:** Ја опкружува уретрата, формира гланс; понизок притисок за заштита на уретрата.

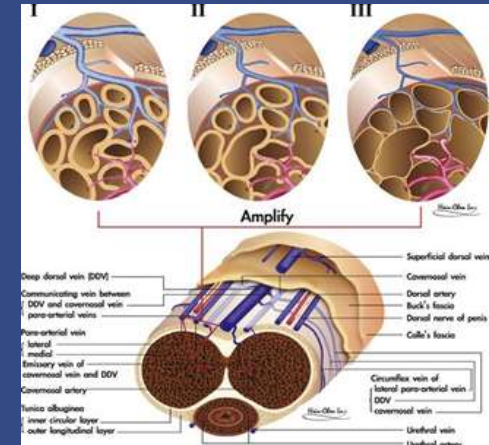
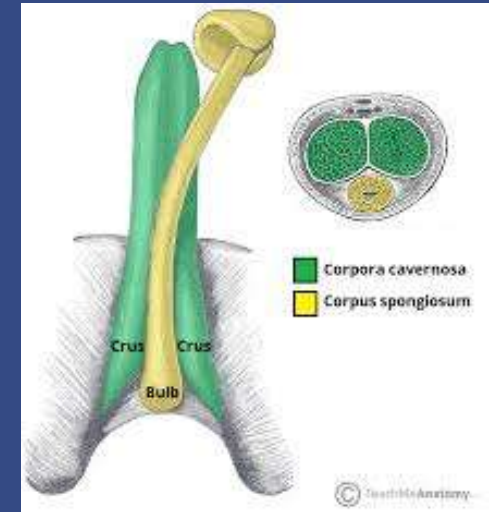
Синусоиди (васкуларни простори)-„крвни простори“ (лакуни) со динамична контрола, специјализирани васкуларни структури што овозможуваат брзо полнење и празнење со крв

Градба на сидот на синусоидите

1. Ендотел обложен со еден слој ендотелни клетки , сличен на оној во крвните садови , лачи **NO**
2. Субендотелен слој (тенок сврзоткивен слој) кој содржи: колаген, еластични влакна и дава минимална потпора и флексибилност
3. Мазна мускулатура (трабекуларна) организирана во трабекули кои ги разделуваат синусоидите и е клучна за ерекција:
 - контракција → празни синусоиди (флакцидност)
 - релаксација → полнење со крв (ерекција)

Tunica Albuginea

- **Двослојна структура:** внатрешен циркуларен и надворешен лонгитудинален слој.
- **Механизам:** емисарните вени поминуваат меѓу слоевите се компримираат при ерекција (**вено-оклузивен механизам**).



Артериска васкуларизација

Артерии

- **a.pudenda interna** → **a.communis penis** → **a.dorsalis**, **a.bulbourethralis**, **a.cavernosa**.
- **Aa. helicinae**: се отвораат директно во кавернозните синуси.

Градба на сидот на пенилните артерии

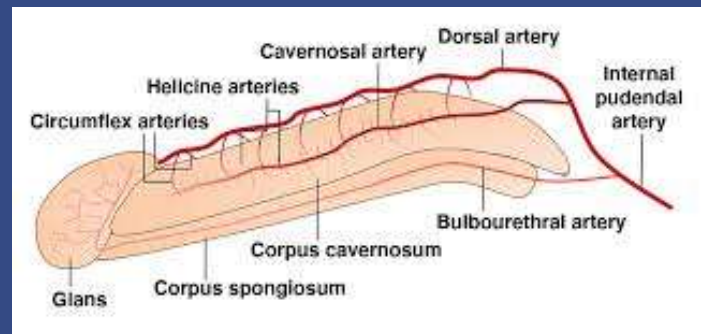
- **Tunica Intima**: слој на ендотелни клетки кои испуштаат азотен оксид (NO).
- **Tunica Media**: подебел во споредба со другите артерии со сличен калибар заради густ слој на мазни мускулни клетки.
- **Хеликални артерии** (Специфичност): карактеристичен спирален облик во флакцидна состојба. Нивниот сид е богат со еластични влакна кои им овозможуваат брзо да се исправат и да се прошират при наплив на крв.

Калибар (Дијаметар)

- **a. cavernosa**: во опуштена (флакцидна) состојба **0.3 до 0.5 mm**, а за време на ерекција калибарот на овие артерии се зголемува **на 0.7 до 1.0 mm** (речиси двојно)
- **a. dorsalis**: поголем почетен калибар, помеѓу **0.5 и 1.0 mm**, помалку учествува во еректилната цврстина.

Важност

- Поради нивниот многу мал калибар, овие артерии се подложни на атеросклероза многу побрзо отколку поголемите артерии на срцето*.



Венска дренажа

Вени

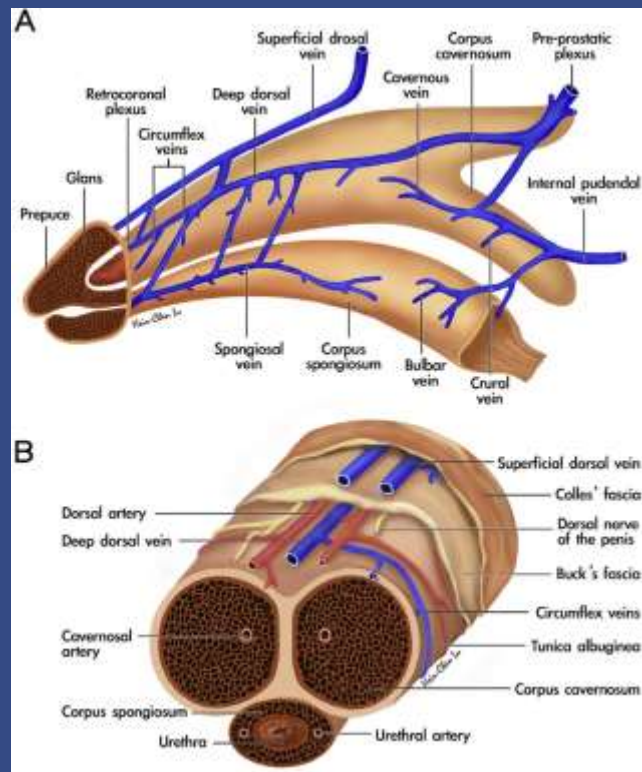
- површински (**v.dorsalis superficialis** – помеѓу tunica D`artos и Buck фасција)
- среден (**vv.emissariae** → **v.circumflexa** → **v.dorsalis profunda**)
- длабок венски систем (**крурални и кавернозни вени** – во внатрешен пудендален плексус).

Градба на сидот на пенилните вени

- **Tunica Intima:** нема залистоци (клапи), протокот се регулира со притисок од околните ткива.
- **Tunica Media:** малку мазни мускулни и еластични влакна, лесно се компримира помеѓу еректилното ткиво и цврстата Букова фасција.
- **Tunica Adventitia:** сврзно ткиво.

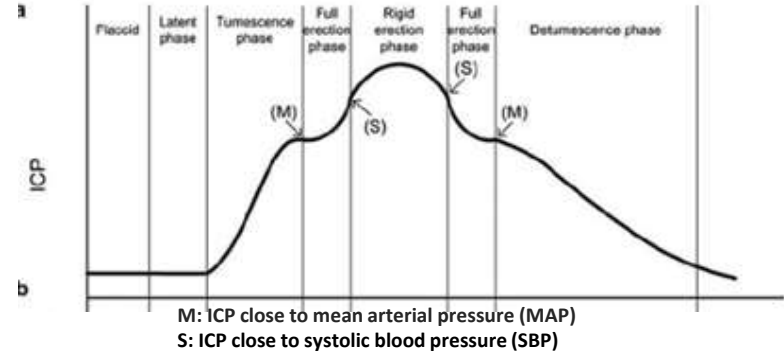
Калибар (Дијаметар)

- **V. dorsalis penis superficialis:** **1.0 до 2.0 mm**, се наоѓа над Буковата фасција (во поткожното ткиво), и не се компримира при ерекција.
- **Циркумфлексни вени:** помали од 1 mm, ги опкружуваат кавернозните тела и се влеваат во длабоката дорзална вена и првите што се „затвораат“ при ерекција.



Хемодинамика на ерекцијата

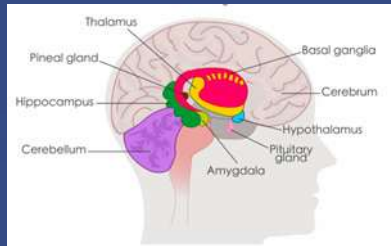
- Ерекцијата е **комплексен хемодинамски настан кој поминува низ пет дефинирани фази**, карактеризирани со промени во **интракавернозниот притисок (ICP)**, **артерискиот проток** и **венската дренажа**.



<p>0. Флакцидна PO₂ ≈ 35 mmHg ICP: низок 10- 15 mmHg •Мазните мускули се тонично контрахирани (симпатички тонус). •Минимален нутритивен артериски проток. •Слободна венска дренажа.</p>	<p>1. Тумесценција ↑ Артериски проток ↑ ICP •Релаксација на мазни мускули (NO/cGMP). •Дилатација на кавернозните и хеликалните артерии. •Брзо полнење на синусоидите.</p>	<p>2. Полна ерекција ICP = 80-100 mmHg 90% од Систолен •Венска оклузија: Компресија на субтуникалните вени. •Артерискиот проток се намалува како што ICP се изедначува со систолниот.</p>	<p>3. Ригидна ерекција ICP > Систолен •Контракција на <i>m.ischiocavernosus</i> •Притисокот може да достигне >400 mmHg, max ≈525mmHg •Целосен прекин на артериски проток и венска дренажа.</p>	<p>4. Детумесценција Симпатичка •3 Фази: •1. Иницијален ↑ ICP (контракција) •2. Бавен ↓ ICP (отворање вени) •3. Брз ↓ ICP (целосна дренажа)</p>
---	---	---	--	---

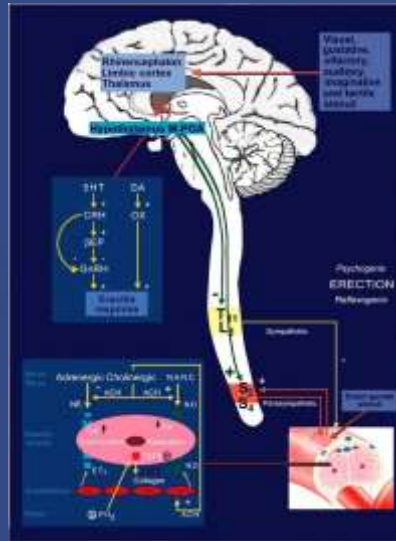
Физиолошки механизми на ерекцијата

1



1. Невроваскуларна каскада која го вклучува **лимбичкиот систем** (amygdala, hippocampus, thalamus, hypothalamus).

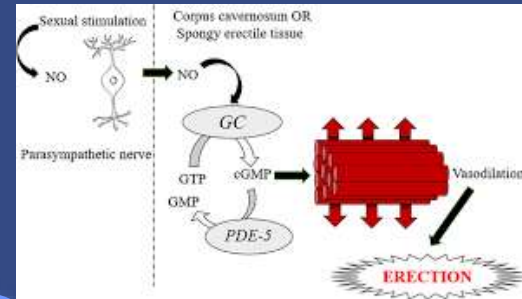
2



2. Рефлексогени и психогени сигнални патишта

Психогената ерекција е активирана од **централните структури**, додека рефлексогената се посредува **преку сакралните сегменти**.

3



3. Улога на азотен оксид

Активацијата на парасимпатикусот ослободува **NO, кој поттикнува релаксација на мазната мускулатура** во кавернозните тела.

Улога на централниот нервен систем (мозок) во ЕФ

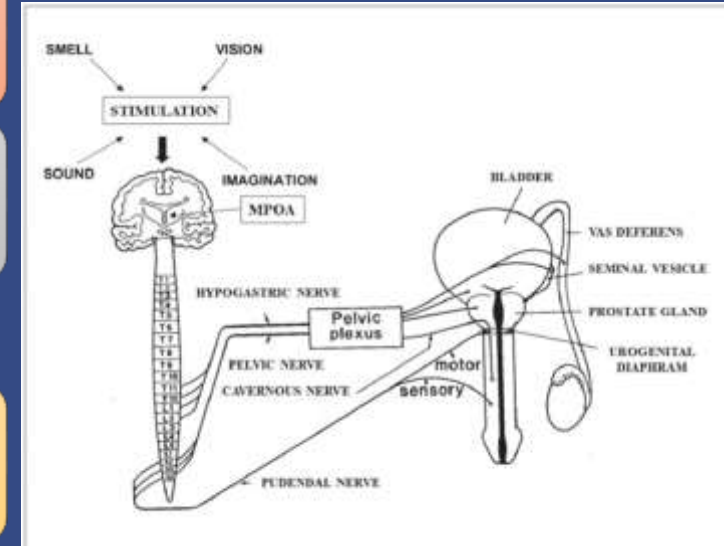
Мозокот иницира, олеснува или инхибира ерекtilни реакции врз основа на сексуални, емоционални или сензорни влезни сигнали.

Клучни мозочни региони клучни за интегрирање на сексуалните стимули и контрола на ерекцијата на penisот се:

- **медијалната преоптичка област (МПОА) на хипоталамусот**
- **паравентрикуларното јадро (PVN)**

Други вклучени области се:

- **лимбички систем (амигдала, хипокампус, хипоталамус)**
- **кортикални региони кои обработуваат сензорни влезни сигнали (визуелни, тактилни, аудитивни).**



Централна интеграција на мозокот

Медијална преоптичка област (МРОА):

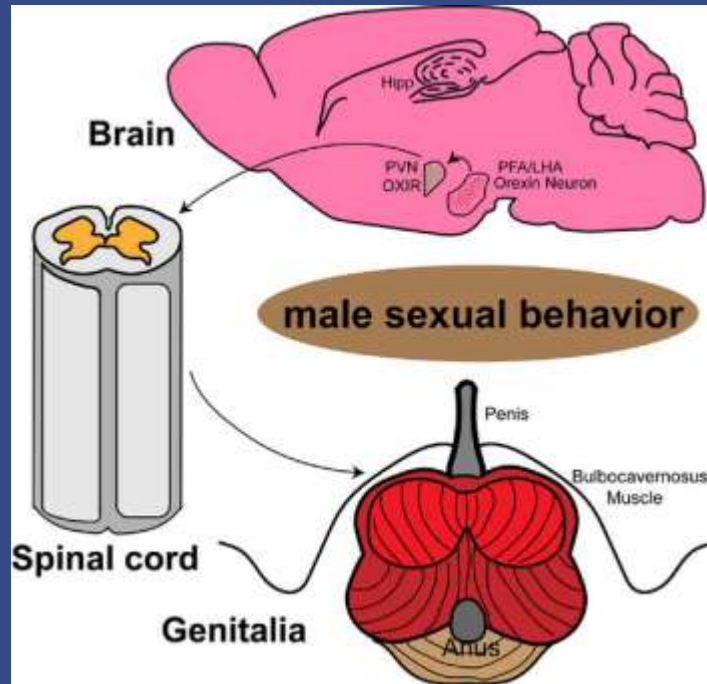
- „главен интегратор“ на машкото сексуално однесување кој ги обработува сензорните влезни сигнали (визуелни, олфакторни, тактилни) и ги **координира сексуалната мотивација и извршувањето на еректилниот одговор.**

Паравентрикуларно јадро (PVN):

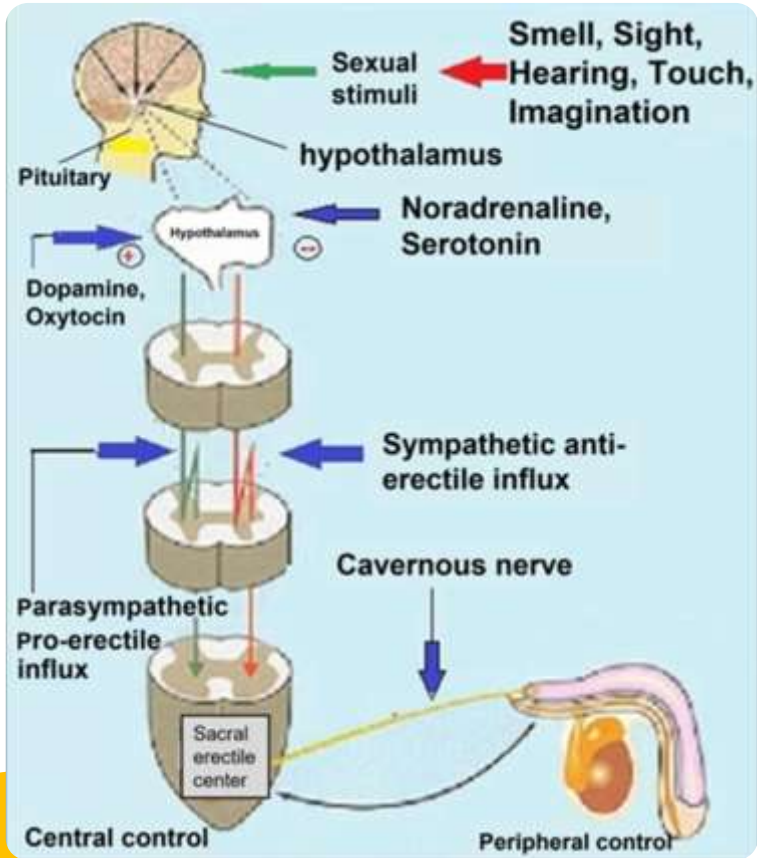
- **центар за автономна регулација** кој содржи **окситоцингергични неврони** кои се проектираат до 'рбетниот мозок за да предизвикаат ерекција
- **Орексин 1 Рецепторот** влијае на ејакулаторниот рефлекс преку посредување во активноста на симпатичкиот нервен систем, што може да биде од големо значење во третманот на предвремена ејакулација*

Хипоталамично-хипофизна оска:

- **регулира системска хормонална средина,** првенствено преку ослободување на гонадотропини (LH и FSH) кои го стимулираат производството на тестостерон.



Психогена ЕФ



Дефиниција: Психогената ерекција е резултат на психолошки фактори, како што се мисли, фантазии или визуелно-емоционални стимулации. Оваа форма на ерекција зависи од свесната активност на мозокот.

Механизам:

- **Психолошките стимулации** (сексуалните мисли или визуелни стимулации) активираат делови од мозокот, вклучувајќи ги **хипоталамусот и лимбичкиот систем**.
- Овие области на мозокот испраќаат сигнали до нервните завршетоци во penisот, што доведува до **ослободување на NO**.
- Психогената ерекција може да биде поинтензивна или послаба во **зависност од емоционалната состојба** на поединецот, стресот, анксиозноста или други психолошки фактори.

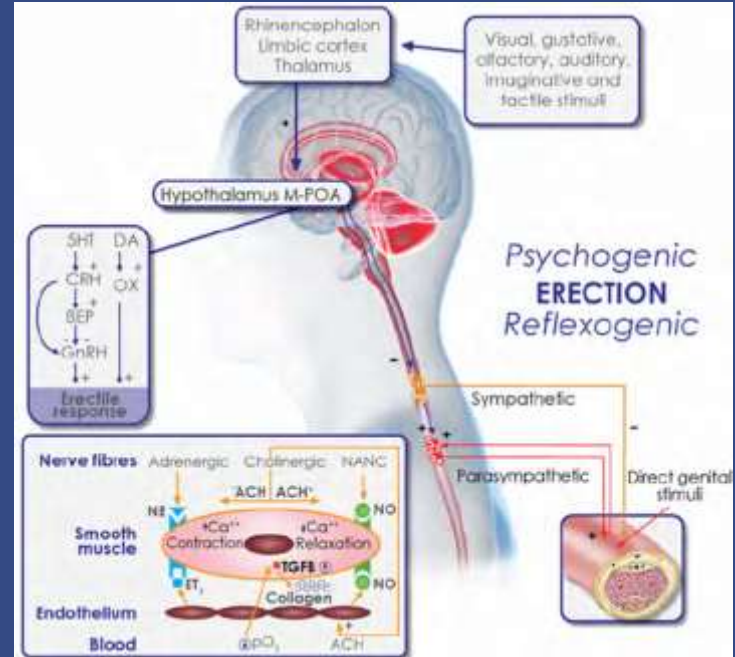
Улога на периферниот нервен систем во ЕФ

'Рбетниот мозок ги интегрира периферните и централните сигнали за да генерира ерекtilни реакции.

Парасимпатичен (S2–S4): Ги контролира рефлексогените ерекции како одговор на директна тактилна стимулација на пенисот.

Симпатичен (T11–L2): Генерално ја одржува флакцидната состојба со предизвикување вазоконстрикција (преку норадреналин) и има улога во ејакулацијата.

Рефлексна ерексија: Оваа често се зачувува кај пациенти со повреди на горниот дел од 'рбетниот мозок бидејќи функционира независно од повисоките мозочни структури.

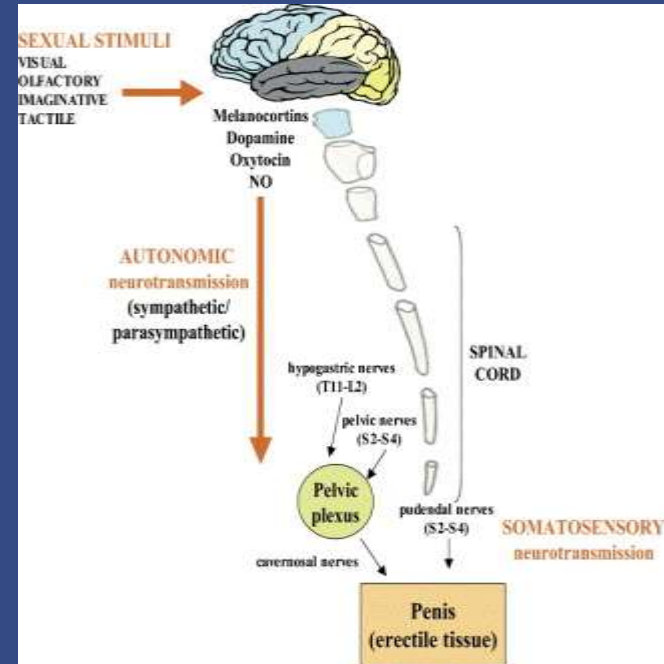


Рефлексогена ерекција

Дефиниција: Рефлексогената ерекција е резултат на директна физичка стимулација на penisот или гениталната област. Оваа форма на ерекција е автоматска и не зависи од свесната активност на мозокот.

Механизам:

- Кога доаѓа до физичка стимулација, рецепторите во кожата и ткивото на penisот испраќаат сигнали до спиналниот мозок.
- Овие сигнали активираат рефлексни патишта, кои предизвикуваат ослободување на невротрансмитери, како што е азот оксид (NO).
- NO предизвикува релаксација на мазните мускули во кавернозните тела, вазодилатација и зголемен проток на крв, што резултира со ерекција.



Ерекции поврзани со спиење (ноќна пенилна тумесценција)

NREM и REM спиењето се клучни за одржување на еректилната функција преку регулирање на хормоните и здравјето на крвните садови.

Во не-REM спиењето, особено за време на бавниот сон (SWS), парасимпатичката активност се зголемува, промовирајќи го лачењето на тестостерон неопходен за либидото и еректилната функција¹.

Во REM спиењето, постои поместување кон зголемена холинергична активност и намален норадренергичен аутпут¹.

Зголемената холинергична сигнализација го подобрува ослободувањето на NO, што доведува до вазодилатација и релаксација на мазните мускули во corpus cavernosum².



1.Trinder J, Kleiman J, Carrington M, Smith S, Breen S, Tan N, et al. Autonomic activity during human sleep as a function of time and sleep stage. J Sleep Res. 2001;10:253–64.

2.Saenz de Tejada I, Blanco R, Goldstein I, Azadzi K, de las Morenas A, Krane RJ, et al. Cholinergic neurotransmission in human corpus cavernosum. I. Responses of isolated tissue. Am J Physiol. 1988;254:H459–67.

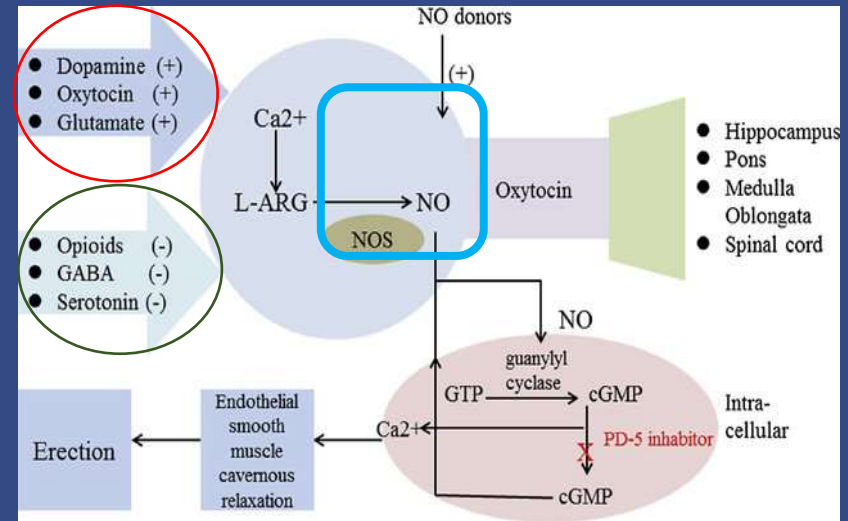
Невротрансмитери кои учествуваат во ЕФ

Допамин: ја олеснува ерекцијата со дејство врз неврните што содржат окситоцин во паравентрикуларното јадро (PVN).

Окситоцин: како клучен невротрансмитер во мозокот и 'рбетниот мозок за да предизвика ерекција, особено за време на сексуална активност и REM спиење.

Серотонин (5-HT): делува како инхибитор на ерекцијата и на 'рбетниот и на супраспиналниот дел, честопати намалувајќи ја сексуалната мотивација и нарушувајќи ја ејакулацијата.

Азотен оксид (NO): невротрансмитер во мозокот за да ја овозможи сексуалната активност.



Ендокрина модулација на ЕФ

1. **Тестостерон:** Примарен хормонски регулатор, неопходен за одржување на либидото и структурниот интегритет на мазните мускули на penisот.

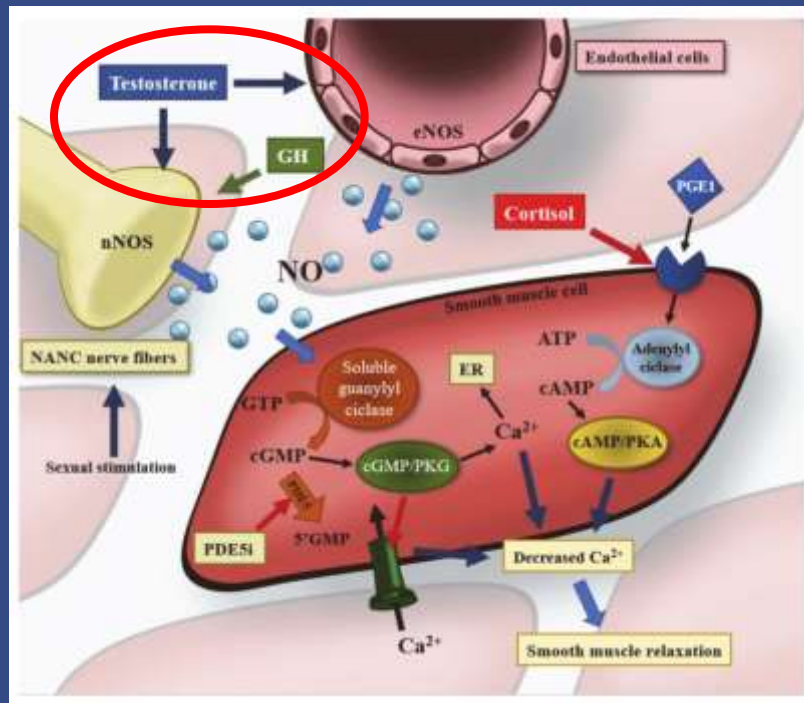
- За правилно функционирање е потребно **приближно 8 nmol/L или 230 ng/dL**,
- високите нивоа на тестостерон не мора нужно да ги подобрат ерекциите.

2. **Дехидроепиандростерон(сулфат):** директен невротрансмитер и вазодилататор (преку активација на NOS)

3. **Пролактин:** високите нивоа (хиперпролактинемија) го инхибираат лачењето на гонадотропини, што доведува до намален тестостерон, намалено либидо и еректилна дисфункција.

4. **Тироидни хормони:** хипертироидизмот и хипотироидизмот можат да придонесат за еректилна дисфункција преку промени во SHBG (глобулин што врзува полови хормони) и целокупното либидо.

5. **Меланокортини:** хипоталамусни пептиди, вклучени во централната иницијација на ерекцијата



Улогата на тестостерон во ЕФ

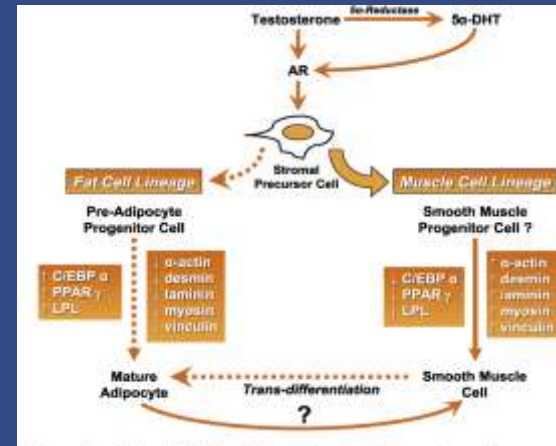
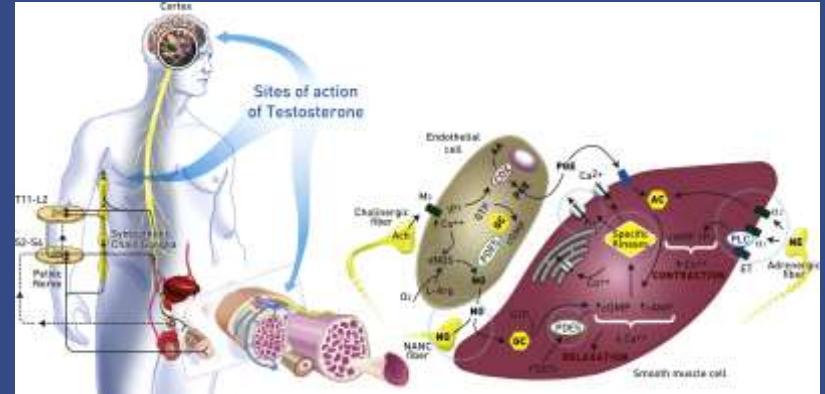
Ја регулира структурата и функцијата на нервите^{1,2}

- клучен за созревање и одржување на густината на терминалните аксони и експресијата на невропептидите во ductus deferens, а дејствувајќи периферно на 'рбетниот мозок, го подобрува еректилниот одговор на кавернозниот нерв.

Ја регулира експресијата и активната на азот-оксид синтазата² - Кај кастрирани животни, администрацијата на тестостерон или 5 α -дихидротестостерон (DHT) го обновува еректилниот одговор и експресијата на NOS во penisot.

Ја регулира фосфодиестеразата (тип) 5²- кастрацијата ја намалува експресијата и активната на PDE5 кај зајаци и стаорци, а суплементацијата со андрогени ја зголемува експресијата и активната на PDE5.

Го регулира растот и диференцијацијата на клетките² – се претпоставува дека андрогените го поттикнуваат вклучувањето на **плурипотентните матични клетки во мускулна лоза** и ја инхибираат нивната диференцијација во адипоцитна лоза



Пенилни невровакуларни механизми на ЕФ

Последната ефекторна фаза се јавува во пенисот, каде што невронските сигнали предизвикуваат васкуларни промени.

1. Неадренергичен, нехолинергичен (NANC) пренос:

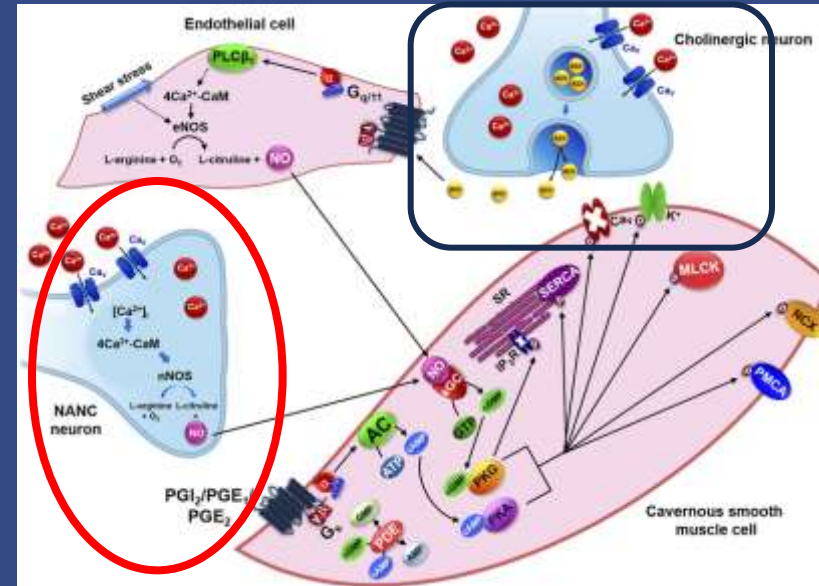
- медијатор на релаксација на еректилното ткиво. При сексуална стимулација, NO се ослободува од NANC нервите и ендотелот, стимулирајќи ја гванилат циклазата да произведе цикличен гванозин монофосфат (сGMP), што предизвикува релаксација на мазните мускули и зголемен прилив на крв.

2. Холинергичен пренос:

- Парасимпатичките нерви ослободуваат ацетилхолин (ACh), што помага во активирањето на ослободувањето на NO.

3. Адренергичен пренос:

- Норадреналинот предизвикува контракција на трабекуларните мазни мускули на пенисот, предизвикувајќи детумесценција



Улогата на азот оксид (NO) како клучен медијатор на ЕФ

Азотен оксид дифундира во мазните мускулни клетки и ја активира гуанилат циклаза, која го конвертира гуанозин трифосфат (GTP) во гуанозин монофосфат (сGMP).

Оваа разградба доведува до **контракција на мазните мускули** и **намалување на протокот на крв**, што резултира во опаѓање на ерекцијата.

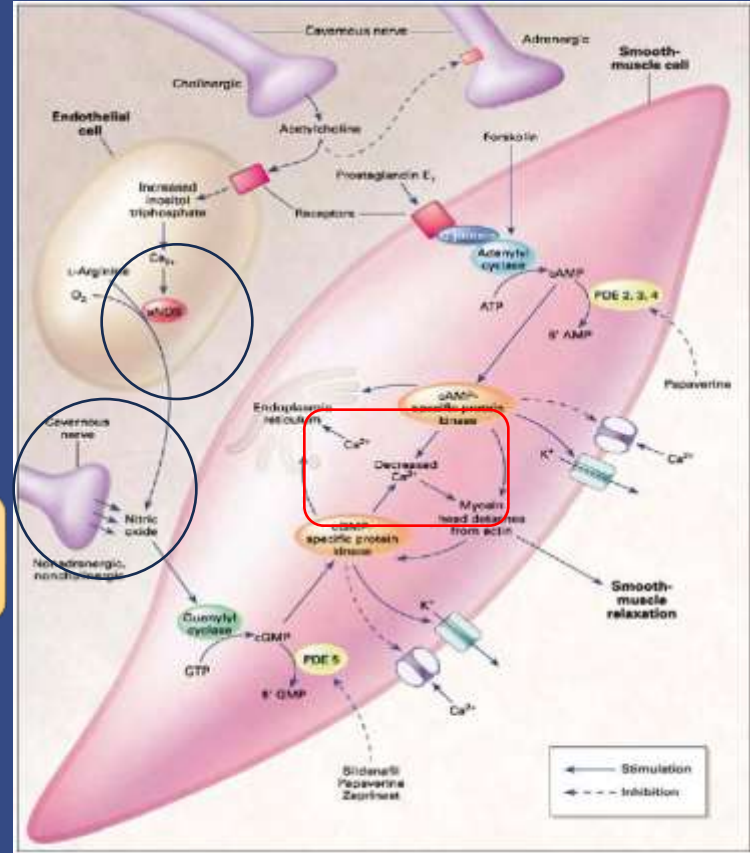
сGMP е вториот посредник кој игра клучна улога во процесот на релаксација на мазните мускули.

По завршувањето на сексуалната стимулација, **нивото на сGMP се намалува** преку дејството на ензимот **фосфодиестераза тип 5 (PDE5)**,

Зголеменото ниво на сGMP предизвикува **релаксација на мазните мускули** и зголемен проток на крв во пенисот.

Зголемениот синусоиден притисок дополнително помага во одржувањето на ерекцијата.

Како резултат на **вазодилацијата**, крвта ги полни кавернозните тела, што доведува до ерекција.



Заклучок



Клучно за еректилната функција се комплексните интеракции помеѓу анатомските, физиолошките, психогените, невроендокрините и васкуларните механизми.

Секое отстапување и/или нарушување на еден од овие механизми резултира со нарушена еректилна функција.

Потребата од интегративен пристап во дијагностиката и третманот на еректилната дисфункција е значајна за подобрување на сексуалната функција.



БЛАГОДАРАМ

**Доц.д-р Маја Софрониевска
Главинов**

