



'26

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД

год. 67
бр. 2 (април)

YU ISSN 04406826
UDC 54.011.93

Век од рођења



академика
Драгомира Виторовића
(1926-2015)

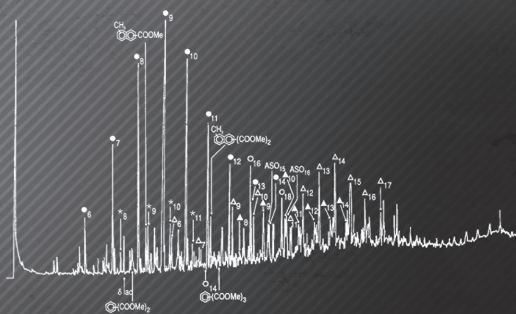


Fig. 1. Gas chromatogram of ether-soluble acids K4 obtained by oxidation of Estonian kukersite kerogen (fourth fraction). Methyl-esterified: O — monocarboxylic acids; @ — *n*,-*n*-dicarboxylic acids; * — *γ*-methyl-dicarboxylic acids; □ — branched dicarboxylic acids; Δ — alkylsuccinic acids; δ — alkylsuccinic acids; ASO_n — *n*-alkylsuccinic acids with O-function in alkyl-chain; γ- and δ-lac — *γ*- and *δ*-lactones; *n* — total number of C atoms.

**Водећег органског геохемичара
друге половине двадесетог века**

hp.shd.org.rs

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД CHEMICAL REVIEW



Editor-in-Chief
DRAGICA D. TRIVIĆ

Volume 67
NUMBER 2
(April)

Deputy Editor-in-Chief
VESNA D. MILANOVIĆ
MAŠTRAPOVIĆ

Publisher
SERBIAN CHEMICAL SOCIETY
Belgrade/Serbia, Karnegijeva 4

Годиште 67

број 2
април

Издаје
СРПСКО ХЕМИЈСКО ДРУШТВО

Телефон 3370-467

Карнегијева 4

излази двомесечно

ОДГОВОРНИ И ГЛАВНИ УРЕДНИК
Драгица Д. Тривић

ПОМОЋНИК ОДГОВОРНОГ И ГЛАВНОГ УРЕДНИКА
Весна Д. Милановић Маштраповић

ЧЛАНОВИ РЕДАКЦИЈЕ
Душанка М. Милојковић Опсеница,
Тамара Р. Годоровић, Игор М. Опсеница,
Милан Р. Николић, Ксенија Стојановић,
Александра Дапчевић

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР
Иван Гутман, Душан Сладић, Снежана Зарић, Сузана
Јовановић Шанта, Драган Марковић, Радомир Саичић,
Мелина Калагасидис Крушић, Живорад Чековић
(председник)

Web site: <https://hp.shd.org.rs/>

e-mail редакције: hempred@chem.bg.ac.rs

Припрема за штампу и штампа:
РИЦ графичког инжењерства
Технолошко-металуршки факултет
Београд, Карнегијева 4

Насловна страна:
Слободан и Горан Ратковић
RatkovicDesign
www.ratkovicdesign.net
office@ratkovicdesign.net

САДРЖАЈ

ЧЛАНЦИ

Милица СТЕВАНОВИЋ, Милица БОГДАНОВИЋ, Ивана КУЗМИНАЦ
Milica STEVANOVIĆ, Milica BOGDANOVIĆ, Ivana KUZMINAC
АНАБОЛИЧКИ АНДРОГЕНИ СТЕРОИДИ
ANABOLIC ANDROGENIC STEROIDS _____ 38

Лука КЕЗИЋ
Luka KEZIĆ
ПРАКТИЧНИ АСПЕКТИ (ЗЛО)УПОТРЕБЕ АНАБОЛИЧКИХ
СТЕРОИДА И ЊИХОВИ ШТЕТНИ ЕФЕКТИ
PRACTICAL ASPECTS OF THE (MIS)USE OF ANABOLIC
STEROIDS AND THEIR ADVERSE EFFECTS _____ 47

Никола ТЕРЗИЋ
Nikola TERZIĆ
ПРИРОДНО ВИСОК НИВО ТЕСТОСТЕРОНА КОД
ПРОФЕСИОНАЛНИХ СПОРТИСТКИЊА: УЗРОЦИ,
ПОСЛЕДИЦЕ И КОНТРАВЕРЗЕ
NATURALLY HIGH TESTOSTERONE LEVEL IN
PROFESSIONAL FEMALE ATHLETES: CAUSES,
CONSEQUENCES AND CONTROVERSIES _____ 54

Бранислав КОКИЋ
Branislav Kokić
ОДАБРАНИ НАПРЕЦИ У ОРГАНСКОЈ ХЕМИЈИ У ДРУГОЈ
ПОЛОВИНИ 2025. ГОДИНЕ
SELECTED ADVANCEMENTS IN ORGANIC CHEMISTRY
PUBLISHED IN THE SECOND HALF OF 2025 _____ 59

ВЕСТИ ИЗ / за ШКОЛЕ

Марија МЕЧАНИН
Marija MEČANIN
ПРИМЕНА ДИГИТАЛНОГ АЛАТА КАНООТ! У НАСТАВИ
ХЕМИЈЕ У ОСНОВНОЈ ШКОЛИ
THE ROLE OF THE KANOOT! DIGITAL PLATFORM IN
CONTEMPORARY CHEMISTRY TEACHING IN PRIMARY
SCHOOL _____ 63

ВЕСТИ ИЗ СХД

ИЗВЕШТАЈ О ОДРЖАНИМ АПРИЛСКИМ ДАНИМА О
НАСТАВИ ХЕМИЈЕ - 34. СТРУЧНО УСАВРШАВАЊЕ
НАСТАВНИКА ХЕМИЈЕ и 6. КОНФЕРЕНЦИЈА МЕТОДИКЕ
НАСТАВЕ ХЕМИЈЕ _____ 69



УВОДНИК

Драги читаоци *Хемијској прејледа*,

Пред вама је други број часописа у 2026. години. Следи преглед о чему можете да читате у овом броју.

Милица Стевановић, Милица Богдановић и Ивана Кузминац са Департмана за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Природно-математичког факултета, Универзитета у Новом Саду, написале су чланак под називом *Анаболички андрогени стероиди*. Полазећи од првих истраживања стероидних једињења, чланак детаљно разматра хемијску структуру анаболичко-андрогених стероида (ААС), механизам деловања, биолошку активност и примену у медицини и спорту. Ауторке повезују структурне модификације тестостерона са променама анаболичког и андрогеног дејства, и описују механизам интеракције ААС са андрогеним рецепторима и регулације синтезе протеина. Критички разматрају терапијску примену ААС у лечењу различитих обољења, указујући на здравствене ризике и психолошке последице њихове злоупотребе, нарочито у контексту спорта и допинга.

Лука Кезић, студент IV године основних академских студија Биохемије, Универзитета у Београду – Хемијског факултета, припремио је чланак под називом *Практични аспекти (зло)употребе анаболичких стероида и њихови шtetни ефекти*. У чланку пружа приказ структуре, механизма деловања и практичне примене анаболичко-андрогених стероида, с посебним освртом на њихову злоупотребу у спорту и рекреативним активностима. Анализира различите режиме употребе анаболика, као и савремене методе њихове детекције у антидопинг контроли. У чланку су описани здравствени ризици злоупотребе стероида, који обухватају ендокрине, кардиоваскуларне, хепатотоксичне и психичке поремећаје, као и дугорочне последице по репродуктивно и опште здравље корисника.

Никола Терзић, студент IV године основних академских студија Биохемије, Универзитета у Београду – Хемијског факултета, припремио је чланак под називом *Природно висок ниво тестостерона код професионалних спортисткиња: узроци, последице и контраверзе*. У чланку разматра биолошку улогу тестостерона и његов значај у контексту спортских перформанси. Анализира различите аспекте регулације природно повишеног нивоа тестостерона код спортисткиња, указујући на сложеност разграничења између „фер” и „нефер” предности у спортским такмичењима. Кроз приказ познатих случајева спортисткиња, критички преиспитује примену прописа међународних спортских федерација и њихове последице по људска права, родну равноправност и недискриминацију у спорту.

Бранислав Кокић са Универзитета у Београду – Фармацеутског факултета за нас је поново направио избор скорашњих резултата у органској хемији и о томе написао

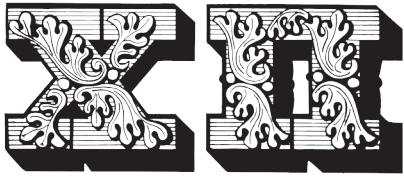
чланак под називом *Одабрани најреци у органској хемији у другој половини 2025. године*. У првом изабраном чланку описује се развијена метода за хидроксилацију терцијарних C_{sp3}-Н група уз веома малу количину катализатора и висок број каталитичких обраћа. У другом изабраном раду говори се о употреби угаоно напетих диена за формирање угљеничних скелета. Такав приступ омогућава усложњавање молекула, а у једном кораку се могу стереоселективно формирати два прстена. Изабрани трећи рад односи се на синтезу и карактеризацију неопентил-натријума, једињења које показује добру растворљивост у органским растварачима и може се изоловати у чистом стању. Све до друге половине 2025. године није развијена ефикасна метода за енантиселективну синтезу конфигурационо стабилних амина са хиралним азотом, а четврти приказани чланак управо описује синтезу једињења са хиралним азотом.

Марија Мечанин, професорка хемије у Основној школи „Коста Абрашевић” у Реснику, написала је чланак под називом *Примена дигиталног алатија Kahoot! у настави хемије у основној школи*. Поделила је са нама своје искуство у примени дигиталне платформе Kahoot! у настави хемије у основној школи, за формативно оцењивање и праћење напредовања ученика, за индивидуализацију наставе, подстицање већег ангажовања ученика у учењу хемије, сарадње са другима, као и веће мотивисаности за учење хемије.

Прочитајте како су протекли **Априлски дани о настави хемије (АД2026)**, који су одржани 8. и 9. априла 2026. године на Универзитету у Београду – Хемијском факултету, а у организацији Српског хемијског друштва и Универзитета у Београду - Хемијског факултета. Одржано је девет предавања, пет саопштења и три радионице. Дружили смо се и учили једни од других, а о чему, прочитајте у извештају.



Драгица Д. Тривић



ЧЛАНЦИ



Милица СТЕВАНОВИЋ, Милица БОГДАНОВИЋ, Ивана КУЗМИНАЦ

Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет,
Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине

Е-пошта: milica.stevanovic@dh.uns.ac.rs,
milica.bogdanovic@dh.uns.ac.rs, ivana.kuzminac@dh.uns.ac.rs

АНАБОЛИЧКИ АНДРОГЕНИ СТЕРОИДИ

ИЗВОД

Прва истраживања везана за анаболичке андрогене стероиде (скр. ААС) датирају још из прве половине 19. века, када се само наслућивало о постојању супстанци које утичу на повећање мишићне масе. Након што је 1935. године изолован први стероидни хормон који има андрогени и анаболички ефекат у организму, те припада ААС, тестостерон, започета су даља истраживања на животињама, а касније и на људима. Анаболички стероиди имају широку примену, почев од терапеутске употребе у лечењу блажих и хроничних болести (хипогонадизам, кашњење пубертета, кахексија итд.), па све до њихове злоупотребе у спорту. Иако су андрогени кључни за развој мушких полних карактеристика, због своје анаболичке активности њихова злоупотреба је честа чак и код особа женског пола које се активно баве спортом. Жеља за постизањем бољих резултата некада је јача од чињенице да неадекватна примена једињења ове групе може да донесе и значајне нежељене ефекте.

Кључне речи: анаболици, ААС, андрогени хормони, *тестостерон, дојини тестостерон*

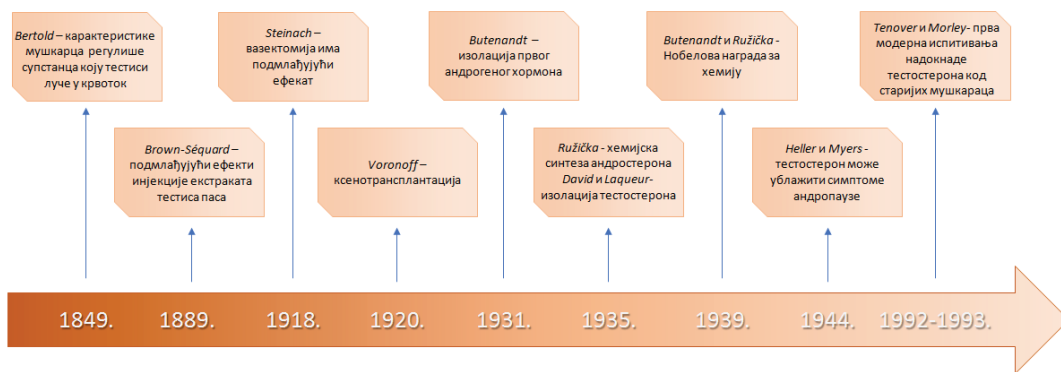
ИСТОРИЈА

Прва истраживања усмерена на стероидна једињења су почела још у 19. веку, када је фокус био на одређивању молекулске формуле холестерола и појединих жучних киселина, али су се прве формуле које су предложили *Heinrich Wieland* и *Adolf Windaus* испоставиле нетачним. Молекулске и структурне формуле холестерола и деоксихолне киселине су утврђене синтетским путем, реакцијом дехидрогенизације помоћу селена, а потом поређењем са резултатима истраживања које је спровео *Bernal* испитујући кристалну структуру молекула ергостерола. На основу ових формула су потом одређене и структуре полних хормона (естрона, естрадиола, андростерона, тестостерона и прогестерона) (*Stefanović, 1966*).

Упоредо су вођена истраживања фокусирана на утврђивање утицаја андрогена на организам особа мушког пола, заснована на трансплантацији ендокриног ткива. Тако је *Arnold Bertold* успоставио везу између мушких секундарних полних и бихевиоралних карактеристика

и супстанце коју луче тестиси (Слика 1). Скоро пола века касније, *Charles-Édouard Brown-Séquard* објавио је резултате аплицирања самоинјекција које су садржале мешавину екстракта сперме, ткива тестиса и крви младих енергичних паса, чиме је отпочела клиничка примена андрогена. Неколико година касније, *Eugen Steinach* сматрао је да подвезивањем семених канала долази до повећане производње инкретинских хормона након престанка секреторне производње у гонадама. Ови хормони су хормони интестиналног система, чија је кључна улога у регулацији нивоа глукозе и лучењу инсулина. У сарадњи са уролозима 1918. године је извео прву успешну операцију код старијег пацијента, што је уједно био почетак развоја вазектомије током наредне две деценије (*Schultheiss & Stief, 2005*).

Интензивирање истраживања везаних за стероидне хормоне се десило тридесетих година прошлог века. Немачки научник *Adolf Butenandt* је 1931. године изоловао први мушки полни хормон из велике запремине урина (15000 – 25000 L) и назвао га андростерон. Потом је са својим сарадницима изоловао још један андростански 17-кето дериват односно андростенолон, касније преименован у дехидроепиандростерон. Ипак, даљим испитивањима испоставило се да је дошло до погрешне идентификације. Прву изолацију и идентификацију тестостерона извела је група холандског научника *Ernst Laqueur-a* 1935. год. Он је из 100 kg тестиса бикова изоловао око 10 mg тестостерона и утврдио већи андрогени ефекат екстракта тестиса у поређењу са супстанцом изолованом из урина, односно да се хормон тестиса брзо метаболише и излучује урином у мање активном облику. Исте године, независно један од другог, *Butenandt* (Схема 1) (*Butenandt & Hanisch, 1935*) и група швајцарског научника *Leopolda Ružičke* (Схема 2) (*Ruzicka & Wettstein, 1935*), су публиковали синтезу тестостерона, коначно утврдивши структуру и његову улогу као главног људског андрогеног хормона. Ова истраживања су им донела Нобелову награду за хемију 1939. године, док *Laqueur* није чак ни био номинован упркос томе што га је први изоловао и именован (*Schultheiss & Stief, 2005; Hackney, 2019*). Убрзо су синтетисани бројни стероидни деривати који су употребљавани као лекови поред природних хормона, а почела је и њихова примена у спорту ради бржег опоравка након великог физичког стреса и исцрпљености.



Слика 1. Кључни догађаји у историји истраживања ААС

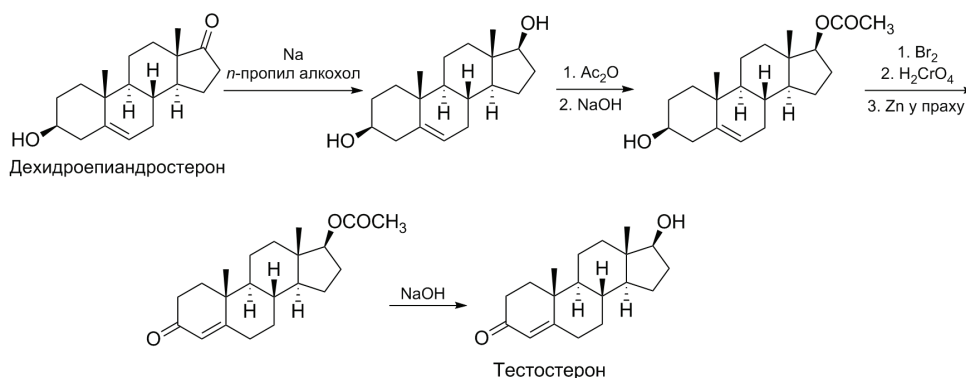


Схема 1. Доказ структуре тестостерона синтезом *Butenandt*-а

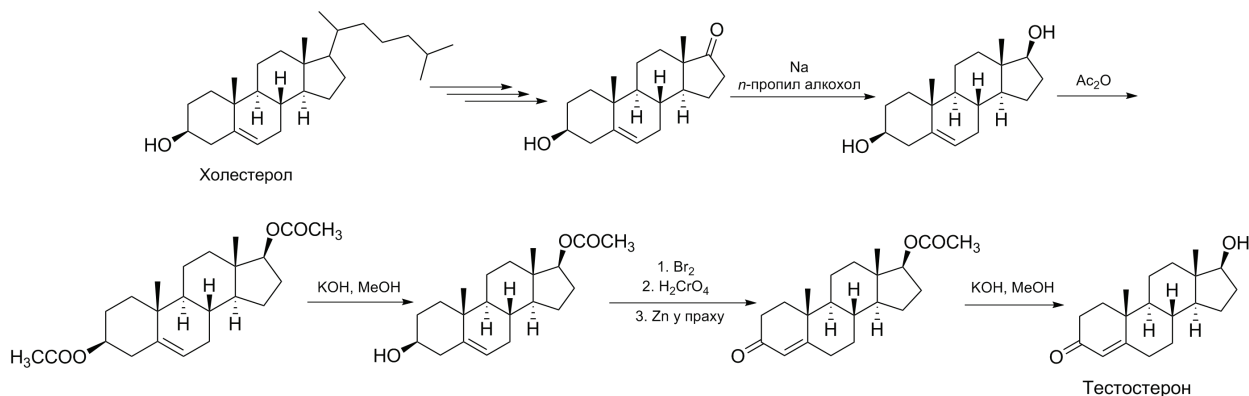


Схема 2. Доказ структуре тестостерона синтезом *Ružičke*

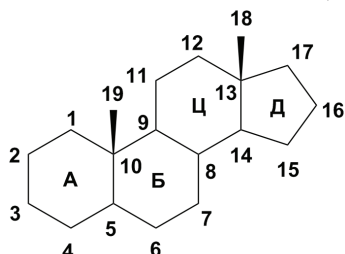
Прва испитивања анаболичког деловања стероида спроведена су од 1935. до 1937. године, када су вршени експерименти на животињама, углавном на пацовима и кастрираним петловима. За разлику од осталих, *Charles Kochakian* и *John Murli* су своје студије спровели на кастрираним псима, како би елиминисали утицај ендогених андрогена, и давали им дериват тестостерона. Као резултат експеримента, мерили су задржавање азота, фосфора и калијума у организму, који представљају кључне показатеље биосинтезе протеина и развијања мишића. Испоставило се да пси који примају тестостерон-пропионат имају тенденцију већег задржавања азота и других елемената у организму, што је јасан показатељ анаболичког деловања овог стероида (*Kochakian & Costa, 1959*). Рана употреба анаболичких стероида може се пратити од открића тестостерона до њихове примене током II светског рата, када су ове супстанце коришћене како би повећале агресивност и издржљивост немачких војника,

а верује се да је тестостерон користио и сам Адолф Хитлер. Касније су ове супстанце нашле примену у лечењу неухрањених жртава нацистичких концентрационих логора (*Lenahan, 2003*). Управо због ове значајне могућности медицинске примене ААС, даља истраживања су се кретала у два смера: ка синтези нових ефикаснијих ААС или развоју нових формулација добро познатог и ефикасног природног андрогеног хормона са анаболичким деловањем, тестостерона.

СТРУКТУРА И НОМЕНКЛАТУРА АНДРОГЕНИХ СТЕРОИДА

Када је реч о стероидним једињењима, могућ је велики број структурних варијација. С обзиром на то да се стероидни хормони биосинтетишу полазећи од холестерола, у основи структуре садрже циклопента-

ноперхидрофенантренски систем прстенова, тј. стеран. Нумерација атома је идентична оној код холестерола, односно креће од А прстена и иде ка Д прстену, као што је приказано на Слици 2. У структури андрогених стероида налазе се две метил групе у положајима С10 и С13 и називају се ангуларним метил групама, а њихови атоми угљеника су С18 и С19. Ове две групе се налазе изнад равни стерана, стога су оне β -орјентисане (Stefanović, 1966; Berg et al., 2008; Solomons et al., 2016).



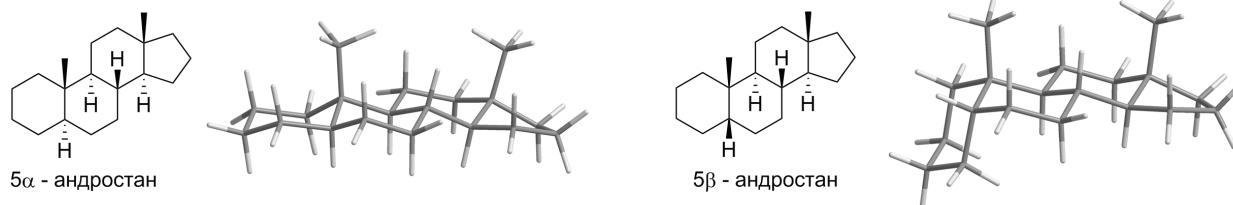
Слика 2. Нумерација и обележавање прстенова циклопентаноперхидрофенантренског језгра

Стероиди имају своје тривијалне називе по којима су познати, међутим врло су битни и систематски називи. У алицикличним прстеновима могућа је *cis/trans* изомерија. Према томе, прстенови Б и Ц, као и Ц и Д су у готово свим природним стероидима међусобно *trans* повезани, док А и Б прстенови у зависности од орјентације (α или β) водониковог атома на С5 могу бити различито повезани (*cis/trans*). Када је водоников атом на С5 α -орјентисан, А и Б прстенови су *trans* орјентисани, а основно једињење са овом конфигурацијом на С5 се назива 5α -андростан (Слика 3). За андрогене стероиде код којих су прстенови А/Б *trans* повезани се каже да припадају андростанској, односно ало- или

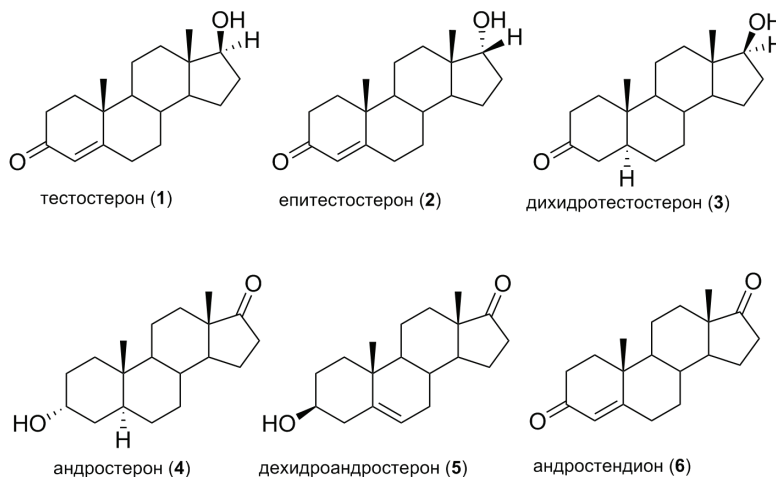
5α -серији. Када је водоник на С5 β -орјентисан прстенови А/Б су *cis* повезани, па се ова серија молекула назива етиохоланска односно 5β -серија, пошто је главни представник 5β -андростан, раније називан етиохолан (Karlson, 1993; Penov-Gaši i sar., 2001; Solomons et al., 2016).

Природни андрогени хормони су стероиди са 19 угљеникових атома и њихова карактеристика је поседовање два кисеоникова атома у положајима С3 и С17 стероидног скелета, која могу бити у форми хидроксилне или карбонилне групе. Имена андрогених стероида се изводе од имена основног једињења додавањем суфикса или префикса који означавају природу супституената, а њихов положај се означава бројем угљениковог атома за који су везани. Међутим, за неке важније и прве откривене андрогене задржани су тривијални називи (Karlson 1993; Stefanović, 1996). Најважнији представници андрогених хормона (Слика 4) су: тестостерон (1), епитестостерон (2), дихидротестостерон (3), андростерон (4) дехидроепиандростерон (5) и андростендион (6) (Penov-Gaši i sar., 2001). Сва наведена једињења су природни андрогени или њихови метаболити, али се по андрогеној активности значајно разликују: тестостерон, дихидротестостерон и андростендион делују као активни андрогени, при чему је дихидротестостерон најактивнији, док епитестостерон, андростерон и дехидроепиандростерон имају релативно слабу или минималну андрогену активност.

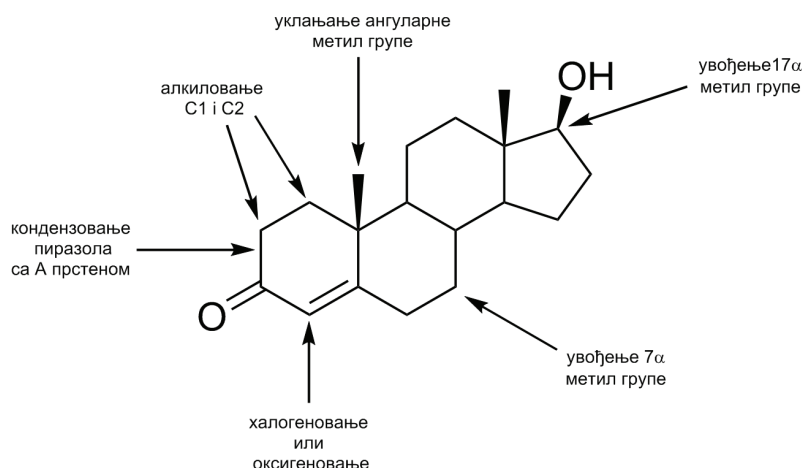
Најчешће хемијске модификације стероидног скелета које се врше ради повећања анаболичког дејства и смањења андрогеног ефекта су приказане на слици 5 (Kisman, 2008). На основу студија изведених на животињама и људима, установљено је да је за андрогену и



Слика 3. Структуре 5α -андростана и 5β -андростана



Слика 4. Структуре андрогених хормона

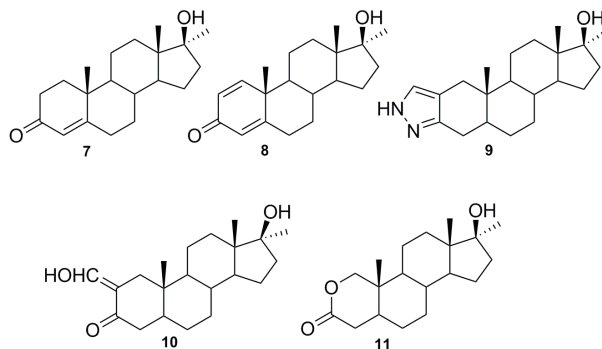


Слика 5. Модификације структуре тестостерона које фаворизују анаболички ефекат

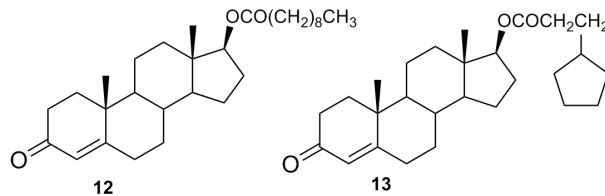
анаболичку активност круцијално присуство 17 β -хидроксилне функције. У неким случајевима естерификација ове хидроксилне групе доприноси повећању биолошке активности, јер повећава липофилност и олакшава пролазак кроз ћелијске мембране, а у организму естри делују као про-лекови, јер се дејством естераза ослобађа активан основни облик ААС. Поред тога, увођењем естарске функције са дужим ланцем киселинског остатка продужава се деловање, односно молекула се спорије ослобађа у циркулацију. Познато је да А прстен игра кључну улогу у везивању тестостерона за андрогени рецептор (скр. AP), па хемијске модификације у овом делу молекула утичу на афинитет везивања за AP и анаболичку активност. С друге стране, промена стереохемије из А/Б *trans*, како је у природним андрогеним хормонима, у А/Б *cis*, драстично смањује андрогену активност. Повећање оралне биорасположивости постиже се алкиловањем природних андростана, односно увођењем најчешће метил или етил групе у C17 положај стероидног језгра. У овом случају повећање дужине алкил ланца на C17 није директно пропорционално повећању анаболичке активности, док увођење мале метил групе у молекула доводи до хепатотоксичних ефеката. Даље, кондензовањем А прстена са пиразолом или оксигеновање у C2 резултује повећањем анаболичке активности. Затим, увођење метил групе у C1 или C2 положај такође може допринети повећању оралне биорасположивости и анаболичке активности. Хидрогенизација Δ^4 -двоструке везе у молекулу тестостерона доводи до смањења андрогене активности (повећава антагонистички ефекат у односу на природни тестостерон) и истовремено смањује анаболички ефекат. Увођење атома халогена (нпр. хлора) у положај C6 или C7 позитивно утиче на стабилност и анаболичку активност једињења, док метил или етил група на овим C-атомима смањује могућност интеракције молекула са AP, а самим тим смањује андрогену и анаболичку активност ових једињења (Nasrollah & Shahidi, 2001; Brueggemeier, 2006; Fragkaki et al., 2009; Bond et al., 2022; Ayubi et al., 2023).

Brower и сарадници су ААС поделили у три класе: 17 α -метиловане андростане (Слика 6), естре 19-нор-тестостерона и естре тестостерона. Међу 17-метиловане ААС-е спадају: 17 α -метилтестостерон (7; 17 β -хидрокси-17 α -метил-4-андростен-3-он), метандростенолон

(8; 17 β -хидрокси-17 α -метил-1,4-андростадие-3-он), станозолол (9; 17 β -хидрокси-17 α -метиландростано[3,2-с]пиразол), оксиметалон (10; 17 β -хидрокси-2[хидрокси-метил]-17 α -метил-5 α -андростан-3-он) и оксандролон (11). Нандролон-деcanoат (12; 17 β -хидрокси-19-нор-4-андростен-3-он-17-деcanoат) и тестостерон-ципионат (13; 4-андростен-17 β -ципионат-3-он) припадају групи естара тестостерона, андростанских стероида са естарском функцијом. Њихове структуре приказане су на Слици 7 (Penov-Gaši i sar., 2001).



Слика 6. Структуре 17 α -метилованих андростанских стероида



Слика 7. Структуре андростанских стероида са естарском функцијом

МЕХАНИЗАМ ДЕЛОВАЊА ААС

Механизам деловања тестостерона као најважнијег представника ААС је приказан на Слици 8. Овај механизам деловања се може применити и на деловање других андрогених, па и анаболичких стероида, с тим да естри тестостерона претходно подлежу хидролизи, при чему се ослобађа тестостерон као активни облик. У

ћелији је овај механизам подложен мањим променама у зависности од тога о ком анаболичком стероиду се ради, али углавном се састоји из неколико кључних фаза. У првој фази тестостерон (Т, Слика 8) дифундује кроз мембрану ћелије. Затим се модификује дејством ензима, дајући неки од својих метаболита (ДХТ = дихидротестостерон, Е = естрадиол), а они се даље везују за одговарајуће рецепторе, андрогене или естрогене, градећи стероид-рецептор комплексе (Слика 8, ДХТ-рец, Т-рец, Е-рец). Формирани комплекси се потом транспортују у једро ћелије, везују за одређене секвенце ДНК и активирају транскрипцију гена. Овим долази до синтезе информационе РНК (иРНК), која прелази из једра у цитоплазму, где се на рибозомима врши транслација, односно синтеза протеина. Варијације овог механизма зависе од афинитета андрогеног рецептора према природним и синтетичким лигандама и од претходног деловања ензима на стероид; стероиди са јаким анаболичком активношћу, као што су 19-нортестостерон и метенолон, везују се за рецептор са високим афинитетом и ефикасно активирају сигнални пут. Стероиди које рецептор препознаје са ниским афинитетом имају слаб анаболички ефекат (Bahrke & Yesalis, 2004; Hartgens & Kuipers, 2004; Kicman, 2008).

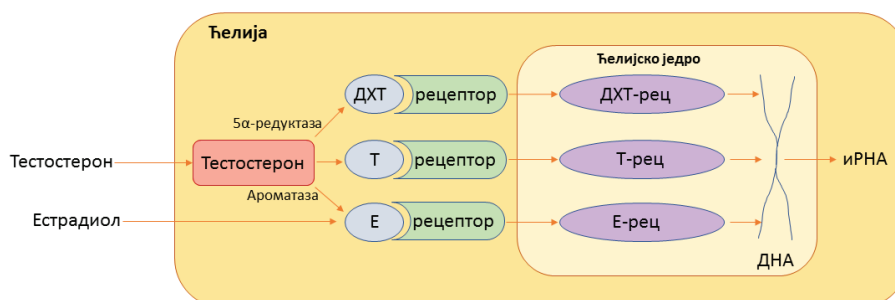
Треба напоменути да улога ААС није ограничена само на повећање мишићне масе. Ова једињења имају и позитиван утицај на опоравак скелетних мишића, делимично захваљујући својим антиинфламаторним својствима. Према механизму деловања на мишиће, ААС могу стимулисати продукцију инсулина сличног фактора раста 1 (енг. *insulin like growth factor-1*, IGF-1) у јетри, који учествује у регенерацији, пролиферацији и диференцијацији скелетних мишића код одраслих особа. Поред тога, ААС стимулишу синтезу протеина, што доприноси анаболичком ефекту и хипертрофији скелетних мишића (Ayubi et al., 2023).

БИОЛОШКА АКТИВНОСТ ААС

Полазећи од значења назива ААС може се закључити да ова врста једињења има два различита, али повезана ефекта, односно реч анаболички у називу представља анаболизам (раст/изградња ћелија, ткива), док андрогени значи да они утичу на развој и одржавање мушких полних карактеристика. Стога је важно рећи нешто више о биолошкој активности мушких полних хормона, односно андрогена. Они се синтетишу у тестисима и одговорни су за развој и одржавање примарних и секундарних мушких полних карактеристика. Дејством андрогених хормона долази до диференцијације мушких

полних органа за време пренаталног и постнаталног развојка, а такође су важни у формирању примарних и секундарних полних карактеристика у пубертету и касније (мањавост, дубок глас итд.). Сматра се да је одређивање „психичког пола” односно мушког начина размишљања и понашања последица деловања андрогених хормона у ембрионалном развоју. За организам одраслог мушкарца је важна непрекидна производња андрогена због сазревања сперме (Karslon, 1993). Осим тога, андрогени хормони имају и важне метаболичке функције, односно стимулишу синтезу протеина (анаболичко деловање) и повећавају ретенцију азота у организму. Мања продукција андрогених хормона је повезана са већим ризиком од кардиоваскуларних болести и инфаркта миокарда. Иако је реч о мушким полним хормонима, треба напоменути да се њихова синтеза не дешава искључиво у тестисима, него је могућа и у кори надбубрежне жлезде (нпр. андростендион и 11-хидроксиандростендион), док их код жена продукују и јајници и периферна ткива (нпр. масно ткиво и кожа). Стога утицај на метаболизам испољавају и у организму жена, али у мањој мери због мање концентрације у крви и улоге прекурсора у синтези естрогених хормона. С тим у вези, како се андрогени и поједини њихови метаболити излучују путем урина, то омогућава увид у функцију мушких гонада, али и функцију надбубрежне жлезде оба пола (Hranisavljević, 1983; Karlson, 1993; Penov-Gaši i sar., 2001). Такође је потврђен важан утицај андрогених хормона на повећање функције секреције сузних жлезда. Инсуфицијенција сузних жлезда (мањак лучења суза) узрокује стање сувих очију, што је чешћа појава код жена него код мушкарца, дешава се углавном после менопаузе, као и након различитих измењених хормоналних стања, попут трудноће, лактације и употребе контрацептивних средстава (Basaria et al., 2001).

Изведене су и клиничке студије које потврђују да употреба ААС у лечењу плућних болести има добар učinak. Хронична опструктивна болест плућа (скр. ХОБП) је повезана са великим губитком у телесној маси. У студији су праћене две групе пацијената са ХОБП (Ferreira et al., 1998). Прва група је примала нандролон-деканат (12, Слика 7) и имала адекватну исхрану и режим вежбања током осам недеља, док у другој групи није било примене анаболика. Експериментални резултати показују повећање телесне масе и инспирацијског капацитета (максимални волумен ваздуха који се може удисати, одраз снаге респираторних мишића), што се може повезати са анаболичким ефектом ААС на скелетне мишиће код пацијената са ХОБП (Schols et al., 1995). Међутим, саветује се опрезна употреба анаболика код пацијената



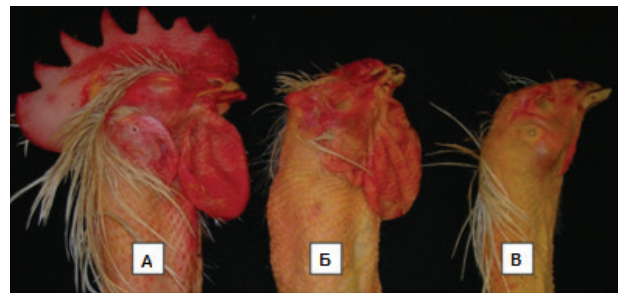
Слика 8. Механизам деловања тестостерона

са ХОБП-ом, јер неадекватном употребом може доћи до развоја полицитемије (повећање броја еритроцита, тј. повећава се вискозитет крви и ризик од тромбозе).

У ткиву тестиса се врши синтеза тестостерона од 17-хидроксипрогестерона, док се на месту деловања (у циљним ћелијама) тестостерон може редуковати до потентнијег 5 α -дихидротестостерона (17 β -хидрокси-5 α -андростан-3-она, скр. ДХТ). Треба напоменути да се стварним активним обликом у простати и тестисима сматра ДХТ, док је за анаболичко деловање у ћелијама мишића одговоран тестостерон. Стероидни хормони, па тако и тестостерон, су нерастворни у води, и транспортују се у крвној плазми, која је водена средина, везани за специфичне и неспецифичне протеине. Специфични протеини укључују глобулин који везује полне хормоне (енг. *sex-hormon binding globulin*, скр. *SHBG*), попут тестостерона и других полних стероида, док неспецифични везујући протеини, попут албумина, слабије везују стероиде. Један део хормона који није везан за протеин-носач представља слободне хормоне, па тако имамо слободан тестостерон, односно део тестостерона који није везан са *SHBG*. Управо та слободна количина тестостерона може да се веже за андрогени рецептор, а самим тим и да испољи биолошку активност.

Потентност андрогених хормона првобитно се одређивала *in vivo* методом заснованом на њиховом физиолошком дејству, односно на способности ових хормона да стимулишу раст тестерасте кресте код кастрираних петлова (копуна). Кастрирањем петлова долази до општег смањења секундарних полних карактеристика, атрофије карактеристичних ознака на глави, кресте и бочних реса, које скоро да нестану (Слика 9). Како су раст и величина кресте директно под утицајем нивоа тестостерона, а кастрацијом долази до драстичног смањења нивоа андрогених хормона у организму ових животиња, аплицирањем ААС долази до регенерације поменутих секундарних полних карактеристика. Конвенцијом је утврђена тзв. копунска јединица (енг. *caron unit*, скр. *CU*), којом је дефинисана она количина супстанце андрогеног деловања, која инјектовањем копунима током два узастопна дана произведе трећег или четвртог дана просечно повећање кресте за 20 %, што се утврђује мерењем површине кресте специјалним апаратом. Тако је на пример андростерон активан у количинама од 0,15 до 0,20 mg, док је утврђено да су тестостерон (0,01 mg, 1) и дихиротестостерон (0,002-0,003 mg) најпотентнији природни андрогани код мужјака (Goodale, 1913; Stefanović, 1966; Hranisavljević, 1983; Sirri et al., 2009). Међутим, ова метода је застарела и избачена је из употребе јер нема велику прецизност, зависи од варијабилних фактора (нпр. старост и здравље копуна) и етички је мање прихватљива. Друга најчешћа *in vivo* метода је *levator ani* тест на пацовима (Metcalf & Broich, 1961; Kicel & Dorfman, 1964). *Levator ani m.* је мишић у карлици мужјака пацова који повећава масу под дејством анаболика. У овом тесту се користе три групе кастрираних пацова, првој се даје тестирана супстанца, а друге две су контролне – плацебо и група која добија тестостерон-пропионат као стандард. Након одређеног времена пацови се жртвују, мере се и упоређују масе *levator ani* мишића (указује на анабо-

лично дејство) и простате и семених везикула (указују на андрогено дејство). На тај начин овај тест даје два резултата: поређењем тестираних и контролних *levator ani* мишића утврђује се анаболичко дејство, док поређењем масе *levator ani* мишића и простате и семених везикула се утврђује анаболичко-андрогени однос. Овај тест је бољи од претходно наведеног, јер даје квантитативне резултате и показује разлику између анаболичког и андрогеног ефекта. Према овом тесту најповољнији ААС профил, тачније најизраженије анаболичко дејство уз минимално андрогено имају оксандролон (трговачки назив анавар) и станозолол, који се примењују у лечењу атрофије мишића и остеопорозе, и нандролон, који се користи у терапији анемије и мишићне дистрофије. Данас се најчешће примењују *in vivo* метода на пацовима (*levator ani* тест) и разни *in vitro* тестови на рецепторима, генетички тестови експресије, имунотестови итд.



Слика 9. Изглед кресте и подбратка код нетакнутих (а), делимично (б) и потпуно кастрираних (в) петлова (Sirri et al., 2009)

ПРИМЕНА И НЕЖЕЉЕНИ ЕФЕКТИ ААС

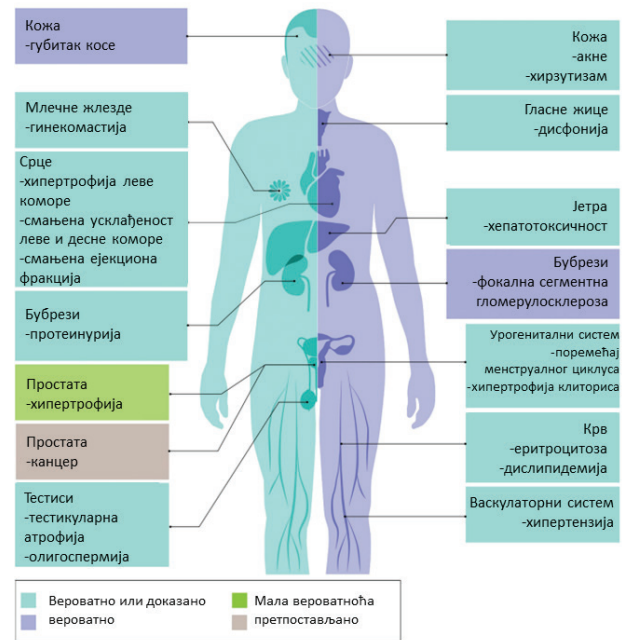
ААС су познати по два типа примене: у клиничкој пракси и злоупотреби у спорту. Њихова употреба датира још од четрдесетих година 20. века, када се почело са применом у лечењу хроничних болести, траума, великих опекотина, последица радиотерапије, али нешто касније установљен је и њихов позитиван ефекат у лечењу кахексије која прати инфекцију вирусом хумане имунодефицијенције (скр. *HIV*) и синдром стечене имунодефицијенције (скр. *AIDS*) (Coodley et al., 1994). Осим тога, губитак телесне масе уско је повезан и са другим хроничним обољењима, нпр. хроничном бубрежном инсуфицијенцијом, цирозом јетре, карциномима и плућним болестима. Иако су најважнији повећан унос хранљивих супстанци и одређени режим вежбања, сматра се да лечење анаболичким средствима може допринети ефекту повећања телесне масе. ААС су нашли примену и у лечењу ниског раста (као што је то случај код *Tarner*-овог синдрома или конституционално одложеног раста у пубертету), карцинома дојке, као и лечењу наследног ангиоедема и атрофије мишића. Примењују се орално или инјектовањем, помоћу фластера или гелова за трансдермалну апсорпцију, али чешће у одређеним циклусима него континуално (Penov-Gaši i sar., 2001; Antonio et al., 2008).

Ипак, дугорочна примена ове класе фармацеутика увек води ка низу нежељених ефеката. Испитивањем утицаја ААС на мозак, утврђено је да не изазивају еу-

форична раположења, што што је довело до закључка да њиховом примени не долази до наглог повишења концентрације неуротрансмитера допамина. Међутим, дугорочна употреба ААС може довести до поремећаја у одређеним функцијама централног нервног система, депресије и анксиозности. Примећене су екстремне промене расположења које укључују манично понашање, које може да доведе и до насиља, односно изражене агресије код корисника. Поред тога, појава параноичне љубоморе, екстремне иритабилности и умањене способности расуђивања услед осећања непобедивости приписују се управо ефектима примене анаболика. Осим наведених, дуготрајна употреба ААС доводи до честих промена у расположењу, појачаног беса, параноичних и пасивно-агресивних поремећаја личности (Lenehan, 2003; Morttram, 2003; National Institute on Drug Abuse, 2025). На основу студија рађених на животињама закључено је да коришћење ААС доводи до зависности. Код људи се овакве студије тешко спроводе, али је већи број истраживања показао да ће особа која користи анаболике наставити да их употребљава без обзира на здравствене проблеме, негативан утицај на међуљудске односе и финансијску ситуацију, што представља основне показатеље зависности. Наиме, њихова свест се мења до те мере да мисле да се без употребе ових супстанци њихове перформансе неће побољшати. Такође се јавља и више симптома услед престанка употребе стероида: нагле промене расположења, умор, немир, губитак апетита, несаница и депресија која може да доведе до суицидног понашања. Истраживања такође показују да ће већи број корисника након престанка употребе ААС почети да користи опојне дроге. Лечење болести зависности од ААС још увак није довољно развијено, па се углавном заснива на едукацији пацијената у вези са симптомима који се јављају након престанка аплицирања стероидне супстанце са анаболичким дејством (National Institute on Drug Abuse, 2025).

У спорту су анаболички стероиди први пут почели да се користе као супстанце које потпомажу опоравак, након великог физичког стреса и исцрпљености. Нажалост ови стероиди се често злоупотребљавају како би се повећала укупна мускулаторна маса, снага и либидо, чак и када постоји велики ризик по здравље, као што је рак јетре, коронарне болести срца и стерилитет. Редовна примена високих доза код особа мушког пола доводи до срчане дисфункције, изазивајући хипертензију, хипертрофију леве срчане коморе и смањења корисних ефеката на функцију леве коморе током вежбања, што води до ризика по живот услед аритмија. ААС користе чак и жене спортисти, иако изазивају нежељене ефекте: дубљи глас, маљавост, срчана обољења, инфаркт миокарда и артеријску тромбоемболију (Sawant & Mehendale, 2005; Ayubi et al., 2023; Wenbo & Yan, 2023). Код жена долази и до нерегуларних менструалних циклуса, па чак и до изостанка циклуса, а код мушкараца може довести до гинекомастије, опадања косе и олигоспермије, односно смањења броја сперматозоида. Активација андрогених рецептора дејством ААС може бити покретач раста ћелија и хипертрофије бубрега, а дуготрајна примена доводи и до бубрежне фиброзе. Хепатотоксичност изазвана ААС повезана је са оксидативним стресом у ћелијама

јетре. На Слици 10. су дати најчешћи нежељени ефекти примене анаболика код мушкараца и жена (Bond et al., 2022).



Слика 10. Нежељени ефекти примене ААС код мушкараца и жена

Данас се ААС све више користе у производњи хране, тачније у сточарству и месној индустрији. У изведеним студијама је установљено да кастрирани петлови, углавном имају мању телесну масу у односу на некастриране (Sirri et al., 2009). Према томе, може се закључити да примена ААС у сточарству убрзава повећање телесне масе животиња и побољшава се искоришћеност хране, што даље води смањењу трошкова узгоја. Након уноса овако третиране хране, код људи долази до низа нежељених ефеката, укључујући проблеме са јетром и бубрезима, хормонске поремећаје, превремен пубретет код девојчица, али и потенцијални канцерогени ефекат. Њихова примена је забрањена у многим државама у Европи, па тако и код нас (Pleadin, 2019).

ААС И СПОРТ

Спортисти су почели да примењују ААС током педесетих година прошлог века, док су прва тестирања спортиста на анаболике вршена током Игара Комонвелта (енг. *The Commonwealth Games*) 1974, при чему је β-хидроксидианабол детектован у урину спортиста захваљујући GC/MS техници. Консеквентно је Међународни олимпијски комитет примену ових супстанци исте године забранио. И поред забране њихове примене, утврђено је да су ААС најчешће употребљавана допинг средства и њихова примена доводи до озбиљних здравствених, али и друштвених проблема. Управо је злоупотреба ААС један од разлога оснивања Светске анти-допинг агенције (енг. *World Anti-doping Agency, WADA*) новембра 1999. године у Лозани од стране Међународног олимпијског комитета. Циљ ове важне институције је да спречи употребу недозвољених супстанци у спорту. Светски антидопинг

кодекс (енг. *World Anti-Doping Code*) усвојило је преко 600 спортских организација. ААС се данас налазе на листи забрањених супстанци *WADA* (енг. *Prohibited List*) и то у групи супстанци које су у потпуности забрањене, и за време такмичења и ван такмичења. Од егзогених ААС забрањено је око 45 супстанци, а од оних који се могу синтетисати у организму, тј. ендогених, на овој листи се налазе: андростендиол (андрост-5-ен-3 β ,17 β -диоол), андростендион (андрост-4-ене-3,17-дион), дихидротестостерон (17 β -хидрокси-5 α -андростан-3-он), прастерон (дехидроепиандростерон, ДХЕА) и тестостерон (*World Anti-Doping Agency*, 2025).

Најважнија карактеристика примене ААС, која им даје предност у односу на остала допинг средства, је чињеница да се током такмичења тешко детектују у урину уколико се прекине са конзумацијом. Узимање ААС у тзв. циклусима (енг. *cycling*), односно током периода од неколико недеља или месеци праћених паузама, заснива се на претпоставци да у периоду без употребе долази до метаболисања и постепене елиминације ових супстанци из организма. Међутим, време елиминације значајно варира у зависности од врсте стероида, присутног естра (нпр. код естара тестостерона), начина примене и индивидуалних фармакокинетичких карактеристика. Просечна дужина циклуса током којег појединац користи ААС обично износи између 8 и 12 недеља, мада може варирати у зависности од самог корисника. Овом методом се осим детекције током спортских такмичења, спречавају и дуготрајни нежељени ефекти на ендокрини систем. Конзументи, најчешће, комбинују неколико различитих стероида у жељи да њихов анаболички ефекат доведу до максимума, а овај начин употребе се популарно назива „*stacking*” (Lenehan, 2003; Morttram, 2003; National Institute on Drug Abuse, 2025).

Због сложености у разликовању ендогених хормона од унетих супстанци са хормонским деловањем, развијен је специфичан однос тестостерон/епитестостерон (Т/Е) као поуздан параметар у аналитичкој и антидопинг дијагностици. Овај квантитативни показатељ односа између концентрација тестостерона и његовог епимера епитестостерона у урину указује на могућу егзогену примену тестостерона, што захтева даље анализе ради потврде порекла хормона. Након открића масене спектрометрије решен је проблем детекције злоупотребе тестостерона и других ААС у спорту (Thieme & Hemmersbach, 2010). Упркос томе, поједини спортисти су поред „*cycling*” методе коју користе како би избегли позитиван тест на ААС, развили још неколико ефикасних метода. Прва техника је била замена сопственог урина „чистим”, тј. урином друге особе, а друга коришћење маскирајућих агенаса, који би молекуле ААС унетих допингом хемијском реакцијом преводили у друге облике, тешке за детекцију. Ипак најчешће су разблаживали урин уносом великих количина диуретика попут чаја или кафе, како би се повећала диуреза и на тај начин избациле недозвољене супстанце из организма, као и њени метаболити. Стога се данас разне врсте диуретика и маскирајућих агенаса налазе на *WADA* листи забрањених супстанци (Newton, 2018). Маскирајући агенси су из различитих класа једињења, па тако имају и другачије механизме и ефекте

маскирања активних супстанци (Alquraini & Auchus, 2018). Неки од најчешће употребљиваних маскирајућих агенаса са *WADA* листе забрањених супстанци укључују лекове попут пробенецида, инхибитора 5 α -редуктазе и кетоконазола. Првобитна употреба пробенецида била је у терапији гихта, а за маскирање ААС се употребљава јер смањује излучивање стероидних глукуронида и тиме отежава детекцију како ендогених, тако и егзогених стероида. Његова идентификација у узорку је довољан доказ за потврду кршења прописа о допингу. Неки од инхибитора 5 α -редуктазе, попут финастерида, могу умањити концентрацију ДХТ. Кетоконазол, познат по свом антифунгалном дејству, делује као инхибитор у биосинтези тестостерона и може нарушити физиолошки однос тестостерон/епитестостерон и самим тим доводи до отежане интерпретације резултата допинг тестова. Важно је напоменути да његов ефекат утиче искључиво на ендегену синтезу тестостерона, без директног деловања на егзогену унет хормон (Thevis et al., 2007; Mayo Clinic, 2025)

ЗАКЉУЧАК

Анаболички андрогени стероиди су природни мушки полни хормони или њихови синтетски аналози. Термин „андрогени” у називу упућује на утицај ових супстанци на развој примарних и секундарних мушких полних карактеристика, док термин „анаболички” означава њихову способност да стимулишу синтезу протеина у организму и тиме доприносе повећању мишићне масе. Поред широке примене у медицини, значајан проблем представља њихова злоупотреба у спорту. Спортисти их примењују пре свега због израженог анаболичког дејства које доводи до повећања мишићне масе и физичке снаге. Међутим, неконтролисана употреба ААС, било оралним, трансдермалним или парентералним путем, може довести до појаве бројних нежељених ефеката, који су у великој мери повезани са њиховим андрогеним дејством. Ови ефекти укључују различите ендокрине, метаболичке и психолошке поремећаје, као и могућност развоја зависности. Управо због честе злоупотребе и потенцијално озбиљних здравствених последица, анаболичко-андрогени стероиди налазе се на листи забрањених супстанци Светске анти-допинг агенције.

Abstract

ANABOLIC ANDROGENIC STEROIDS

Milica STEVANOVIĆ, Milica BOGDANOVIĆ, Ivana KUZMINAC, University of Novi Sad, Faculty of Sciences

First research related to anabolic-androgenic steroids (AAS) dates back to the first half of the 19th century, when the existence of substances capable of increasing muscle mass was only hypothesized. After the first AAS, testosterone, was isolated in 1935, further research was conducted initially on animals and later on humans. Anabolic steroids have a wide range of applications, from therapeutic use in the treatment of mild and chronic conditions (such as hypogonadism,

delayed puberty, cachexia, etc.) to their misuse in sports. Although androgens play a key role in the development of male sexual characteristics, due to their anabolic activity their misuse is also common among female athletes. The desire to achieve better performance is sometimes stronger than the awareness that the inappropriate use of compounds from this group may lead to significant adverse effects.

Key words: anabolics, AAS, androgenic hormones, testosterone, doping tests

ЛИТЕРАТУРА

- Alquraini, H., & Auchus, J. (2018). Strategies that athletes use to avoid detection of androgenic-anabolic steroid doping and sanctions. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 464 (15), 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.028>
- Antonio, J., Kalman, D., Stout, J. R., Greenwood, M., & Haff, G. G. (2008). *Essentials of Sport Nutrition and Supplements*. Totowa, New Jersey: Humana Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-59745-302-8>
- Ayubi, N., Kusnanik, N., Herawati, L., Komaini, A., Cholik, T., Callixte, C., Aljunaid, M., Nurhasan, N., Muhammad, H., Purwanto, B., Rifki, M., Putri D., & Syafawi, A. (2023). Abuse of Anabolic-Androgenic Steroids and Adverse Effects on Human Organ Health. *Biointerface. Research in Applied Chemistry*, 13 (3), 281. <https://doi.org/10.33263/BRIAC133.281>
- Bahrke, M., & Yesalis, C., (2004). Abuse of anabolic androgenic steroids and related substances in sport and exercise. *Current Opinion in Pharmacology*, 4 (6), 614-620. <https://doi.org/10.1016/j.coph.2004.05.006>
- Basaria, S., Wahlstrom, J., & Dobs, A. (2001). Clinical review 138: Anabolic-androgenic steroid therapy in the treatment of chronic diseases. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 86 (11), 5108-5117. <https://doi.org/10.1210/jcem.86.11.7983>
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer L. (2008). *Biochemistry, 5th edition*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Bond, P., Diederik L. S., & Ronde, W. (2022). Anabolic-androgenic steroids: How do they work and what are the risks? *Frontiers in Endocrinology*, 19 (13), 1059473. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1059473>
- Brueggemeier, R. (2006). Sex Hormones (Male): Analogs and Antagonists. In R. Meyers (Ed.). *Encyclopedia of Molecular Cell Biology and Molecular Medicine, 2nd Edition* (pp. 27-41). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Butenandt, A., & Hanisch, G. (1935). Über die Umwandlung des Dehydro-androsterons in Δ^4 -Androsten-ol-(17)-on-(3) (Testosteron); ein Weg zur Darstellung des Testosterons aus Cholesterin (Vorläuf. Mitteil.). *Berichte Der Deutschen Chemischen Gesellschaft (A and B Series). European Journal of Inorganic Chemistry*, 68 (9), 1859-1861. <https://doi.org/10.1002/cber.19350680937>
- Coodley, G. O., Loveless, M. O., Nelson, H. D., & Coodley, M. K. (1994). Endocrine functions in the HIV wasting syndrome. *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes*, 7 (1), 46-51.
- Ferreira, I., Verrechi, I., Nery, L., Goldstein, R., Zamel, N., Brooks, D., & Jardim J. (1998). The influence of 6 months of oral anabolic steroids on body mass and respiratory muscles in undernourished COPD patients. *Chest*, 114 (1), 19-28. <https://doi.org/10.1378/chest.114.1.19>
- Fragkakia, A., Angelis, Y., Koupparis, M., Tsantili-Kakoulidou, A., Kokotos G., & Georgakopoulos, C. (2009). Structural characteristics of anabolic androgenic steroids contributing to binding to the androgen receptor and to their anabolic and androgenic activities. Applied modifications in the steroidal structure. *Steroids*, 74 (2), 172-197. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2008.10.016>
- Goodale, H. (1913). Castration in Relation to the Secondary Sexual Characters of Brown Leghorns. *The American Society of Naturalists*, 47 (555), 159-169. <https://www.jstor.org/stable/2455494>
- Hackney, A. (2019). *Doping, Performance-Enhancing Drugs, and Hormones in Sport. Mechanisms of Action and Methods of Detection Emerging. Anabolic androgenic steroids*. Waltham, Massachusetts: Elsevier.
- Hartgens, F., & Kuipers, H. (2004). Effects of androgenic-anabolic steroids in athletes. *Sports Medicine*, 34 (8), 513-54. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434080-00003>
- Hranisavljević, J. (1983). *Hemija prirodnih proizvoda*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za hemiju.
- Karlsn, P. (1993). *Biokemija (za studente kemije i medicine)*. Zagreb: Školska knjiga.
- Kiel, F., & Dorfman, R. (1964). Anabolic-androgenic potency of various steroids in a castrated rat assay. *Steroids*, 3 (1), 109-122. [https://doi.org/10.1016/0039-128X\(64\)90056-X](https://doi.org/10.1016/0039-128X(64)90056-X)
- Kicman, A. (2008). Pharmacology of anabolic steroids. *British Journal of Pharmacology*, 154 (3), 502-521. <https://doi.org/10.1038/bjp.2008.165>
- Kochakian, C., & Costa, G. (1959). The effect of testosterone propionate on the protein and carbohydrate metabolism in the depancreatized-castrated dog. *Endocrinology*, 65 (2), 298-309. <https://doi.org/10.1210/endo-65-2-298>
- Lenahan, P. (2003). *Anabolic steroids: and other performance-enhancing drugs*, London: Taylor & Francis.
- Mayo Clinic (2025). *Probenecid (oral route)*. Retrieved September 15, 2025. from: <https://www.mayoclinic.org/drugs-supplements/probenecid-oral-route/description/drg-20065625>
- Metcalf, W., & Broich, J. (1961). A Rapid, Reproducible and Sensitive Levator Ani Test for Anabolic Activity. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 107 (4), 744-748. <https://doi.org/10.3181/00379727-107-2674>
- Mortram, D. (2003). *Drugs in Sport*. London and New York: Routledge.
- Nasrollah, T., & Shahidi, M. (2001). A Review of the Chemistry, Biological Action, and Clinical Applications of Anabolic-Androgenic Steroids. *Clinical therapeutics*, 23 (9), 1355-1390. [https://doi.org/10.1016/S0149-2918\(01\)80114-4](https://doi.org/10.1016/S0149-2918(01)80114-4)
- National Institute on Drug Abuse (2023) *Anabolic Steroids and Other Appearance and Performance Enhancing Drugs (APEDs)*. Retrieved September 20, 2025. from: <http://www.nida.nih.gov/infofacts/steroids.html>
- Newton, E. (2018). *Steroids and doping in sports: a reference handbook, Second edition*. Santa Barbara, California: ABC-CLIO.
- Penov-Gaši, K., Đurendić, E., & Medić-Mijačević, Lj. (2001). *Hemija androgena, antiandrogena i njihova primena u biomedicini*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet.
- Pleadin, J. (2019). Hormone use in food-animal production: Dietary exposure of consumers and public health significance. *Hrana i ishrana*, 60 (2), 4954. <https://doi.org/10.5937/hralsh1902049P>
- Ruzicka, L., & Wettstein, A. (1935). Sexuallhormone VII.

- Über die künstliche Herstellung des Testikelhormons Testosteron (Androsten-3-on-17-ol). *Helvetica Chimica Acta*, 18 (1), 1266-1268. <https://doi.org/10.1002/hlca.193501801176>
- Sawant, S., & Mehendale, M. (2005). Anabolic Steroids. *Encyclopedia of Toxicology, Second Edition*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- Schols, A., Soeters, P., Mostert, R., Pluymers, R., & Wouters, E. (1995). Physiologic effects of nutritional support and anabolic steroid in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A placebo-controlled randomized trial. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 152 (4), 1268-1274. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.152.4.7551381>
- Schultheiss, D., Stief, C. (2005). Highlighting 70 Years of Testosterone Substitution. *European Urology Supplements*, 4 (6), 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.eursup.2005.05.001>
- Sirri, F., Bianchi M., Petracci, M., & Meluzzi, A. (2009). Influence of partial and complete caponization on chicken meat quality. *Poultry Science*, 88 (7), 1466-1473 <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00405>
- Solomons, G., Fryhle, C., & Snyder, S. (2016). *Organic Chemistry, 12th Edition*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Stefanović, M. (1966). *Hemija Steroida*. Beograd: Zavod za izdavanje udžbenika
- Thevis, M., Geyer, H., Mareck, U., Flenker, U., & Schanzer, W. (2007). Doping-control analysis of the 5 α -reductase inhibitor finasteride: determination of its influence on urinary steroid profiles and detection of its major urinary metabolite. *Therapeutic Drug Monitoring*, 29 (2), 236e247. <http://dx.doi.org/10.1097/FTD.0b013e31803bb85d>
- Thieme, D., & Hemmersbach, P. (2010). *Doping in Sports: Handbook of Experimental Pharmacology*. New York: Springer.
- Wenbo, Z., & Yan, Z. (2023). The Uses of Anabolic Androgenic Steroids Among Athletes; Its Positive and Negative Aspects- A Literature Review. *Journal of Multidisciplinary Healthcare* 29 (16) 4293-4305. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S439384>
- World Anti-Doping Agency (2025). *Prohibited list*. Retrieved September 17, 2025. from: <https://www.wada-ama.org/en/prohibited-list#search-anchor>



Лука КЕЗИЋ, студент IV године основних академских студија Биохемије
Универзитет у Београду – Хемијски факултет
Е-пошта: lukakezic23@gmail.com

ПРАКТИЧНИ АСПЕКТИ (ЗЛО)УПОТРЕБЕ АНАБОЛИЧКИХ СТЕРОИДА И ЊИХОВИ ШТЕТНИ ЕФЕКТИ

ИЗВОД

Анаболичко-андрогени стероиди су група синтетских супстанци добијених хемијским модификацијама структуре молекула тестостерона. Они имају снажно ергогено дејство, тј. повећавају физичке перформансе тела човека, због чега нису дозвољени (допинг средства) у спорту. Злоупотреба анаболичких стероида у немедицинске сврхе (1–5 % међу општом популацијом у већини западних земаља, посебно код младих) постаје све већи проблем за друштвену заједницу. У овом раду дат је кратак преглед основа структуре и анаболичког деловања стероида, њихових фармаколошких карактеристика и детекције као допинга у спорту, са посебним освртом на њихову практичну примену и нежељене ефекте и здравствени ризик који се при томе могу јавити.

Кључне речи: *тестостерон, анаболички стероиди, употреба анаболика, штетни ефекти*

АНАБОЛИЧКИ ЕФЕКТИ ТЕСТОСТЕРОНА И ЊЕГОВИХ ДЕРИВАТА

Анаболички стероиди су хемијски, синтетски деривати тестостерона, модификовани тако да појачају анаболичко деловање хормона (стимулација процеса

изградње и раста у организму, посебно: појачана синтеза протеина, раст мишићне масе тела, брже обнављање ткива, формирање костију и ћелијско размножавање), не нужно и андрогено деловање полних хормона, што означава утицај на развој и одржање карактеристика мушког пола (развој полног органа, почетак сперматогенезе, пораст маљавости по лицу и телу, продубљивање гласа, појачање либида и друго) (Mottram & George, 2000).

Тестостерон је стероидни хормон који у људском телу настаје из холестерола, из којег потичу и сви други стероидни хормони (осим андрогена, и естрогени, прогестерон, глукокортикоиди и минералокортикоиди). Бисинтеза тестостерона се одвија у Лајдиговим ћелијама тестиса (95 %) и у надбубрежним жлездама (5 %) код мушкараца, а код жена у јајницима (у гранулоза ћелијама фоликула) и надбубрежним жлездама (Mottram & George, 2000).

Према дефиници Светске антидопинг агенције (енгл. WADA, World Anti-doping Agency), под допингом се сматра употреба сваке фармаколошки активне супстанце и/или различитих метода које имају за циљ да повећају спортски учинак или утичу на регуларност допинг теста (<https://www.wada-ama.org/en>). Забрањена супстанца треба да задовољи барем два од три наведена критеријума: (1) она има потенцијал да побољша, или доказано побољшава спортски учинак; 2) њена примена носи здравствени ризик за спорт и спортисте; 3) њена

примена нарушава спортски дух такмичења, дајући „нефер” предност спортисти. Способност да неко допинг средство побољша спортски резултат манифестује се као: ергогено дејство (повећање снаге и производње енергије, као и ефикаснији опоравак после физичког напора), анаболичко дејство (повећање синтезе протеина, посебно у мишићном ткиву) и/или (психо)стимулативно дејство (повећање пажње, борбености и смањење страха) (<https://www.wada-ama.org/en>; Varroso et al., 2008).

Тестостерон, његови метаболити и синтетски стероидни анаболици, били су први идентификовани допинг агенси, који се од 50-тих година прошлог века користе за повећање мишићне масе, снаге и естетског изгледа код одраслих мушкараца. Сврставају се у С1 класу забрањених допинг средстава (Табела 1). Употреба анаболичких агенаса је драстично порасла током последње три деценије и проширила се на све слојеве друштва. Подршка корисницима анаболичких стероида је такође у порасту, не и од стране медицинске професије, због многобројних штетних ефеката њихове (зло)употребе (Sjöqvist et al., 2008; Tomić, 2009).

СТРУКТУРА ТЕСТОСТЕРОНА И АНАБОЛИЧКИХ СТЕРОИДА

Тестостерон је стероидно једињење са четири спојена прстена (А–Д): три циклохексанска и један циклопентански прстен – циклопентаноперхидрофенантренско језгро (Слика 1). Он садржи и кетонску групу на С3 и хидроксилну групу на С17 – отуда хемијски назив по IUPAC номенклатури: 17β-хидрокси-4-андростен-3-он. Због своје неполарне природе, тестостерон пролази кроз хелијске мембране и, везујући се за андрогене рецепторе

у цитосолу ћелија, активира једноставни сигнални пут који активира велики број гена (геномски ефекти андрогена), пресудно утичући на спољашње карактеристике одраслих мушкараца и жена, садржај и расподелу мишићног и масног ткива, као и репродуктивни развој човека (Graham et al., 2008; Kisman, 2008).

Убрзо након што је тестостерон изолован (1935. године), откривено је да је практично неактиван када се узима оралним путем (кроз уста). Када се тако унесе у организам, тестостерон се апсорбује из танког црева и преко порталне вене долази у јетру, где се брзо метаболише, углавном у неактивна једињења. Ињектовани тестостерон још брже доспева у крв, а затим у јетру, где се на исти начин инактивира (Kisman, 2008).

Потрага за активнијим дериватима тестостерона током последњих 50 година довела је до три главна типа модификације структуре тестостерона (Слика 1), од којих је сваки довео до настајања посебне класе синтетичких анаболичких стероида (Kisman, 2008):

- Естерификација једине хидроксилне групе у молекулу тестостерона чини да су добијена једињења још липофилнија и погодна за такозване депо инјекције, са продуженим ослобађањем тестостерона из мишића у крв након интрамускуларне апликације; највише се у клиничкој пракси користе (али и злоупотребљавају) естри тестостерона са ципионатом, енантатом, пропионатом или ундеканоатом (Слика 2);

- Додавање алкил групе на позицију 17α омогућава да добијени дериват буде активан и након оралног уношења (таблете);

- Модификације структуре стероидних прстенова А и Б (Слика 1), као што је С1 метилација, халогенизација (додавање атома флуора), десатурација (увођење

Табела 1. Листа стално забрањених допинг средстава и метода (адаптирано из Tomić, 2009)

СУПСТАНЦЕ (С) И МЕТОДЕ (М) КОЈЕ СУ УВЕК ЗАБРАЊЕНЕ (на такмичењу и изван такмичења)	
Ознака класе	Примери
С1. АНАБОЛИЧКИ АГЕНСИ	1. Анаболички стероиди 2. Остали анаболички агенси
С2. ХОРМОНИ И СРОДНЕ СУПСТАНЦЕ	1. Стимулатори еритропоезе 2. Хормон раста, инсулин-слични фактори раста 3. Хорионски гонадотропин, лутеинизирајући хормон 4. Инсулин 5. Кортикотропини
С3. БЕТА-2 АГОНИСТИ	
С4. АНТАГОНИСТИ И МОДУЛАТОРИ ХОРМОНА	1. Инхибитори ароматазе 2. Селективни модулатори естрогенских рецептора 3. Остали антиестрогени 4. Инхибитори миостатина
С5. ДИУРЕТИЦИ И ДРУГИ МАСКИРАЈУЋИ АГЕНСИ	1. Диуретици 2. Маскирајући агенси
ЗАБРАЊЕНЕ МЕТОДЕ	М1. Побољшање транспорта кисеоника М2. Хемијске и физичке манипулације М3. Генски допинг

Напомена: Уз све наведено, током такмичења је забрањено коришћење стимуланаса (класа С6), наркотика (С7), канабиоида (С8) и глукокортикоида (С9), а у неким спортовима није дозвољена употреба алкохола (класа П1), нпр. аутоспортови и мотоциклизам, и бета-блокатора (П2), као у куглању или гимнастици.

двоструких веза) и друго, пре свега повећава анаболички потенцијал добијених деривата тестостерона. Модификација структуре тестостерона у прстену А, додавањем ензима 5 α -редуктазе, ствара дихидротестостерон, најјачи природни андроген, док ароматизација прстена А (ензими ароматазе) из „мушких” стварају основу „женских” стероидних (полних) хормона.

НАНДРОЛОН – ПОСЕБАН СЛУЧАЈ

Нандролон (Слика 3а), познат и као 19-нортестостерон (17 β -хидрокси-19-нор-4-андростен-3-он), био је први синтетички анаболички стероид изведен из тестостерона. Ово једињење, као лек за третман анемија изазваних инсуфицијенцијом бубрега и остеопорозе, развијен је 1970-тих година и примењиван у облику нандролон-деcanoата (дека-дураболин). За разлику од тестостерона, нандролон у својој структури не садржи метил групу на позицији 19, а у комбинацији са деkаноичном киселином погодан је за инјекциону примену као деполек, који се убризгава директно у мишић, и потом се полако ослобађа активна супстанца у крв током дужег периода (Patanè et al., 2020).

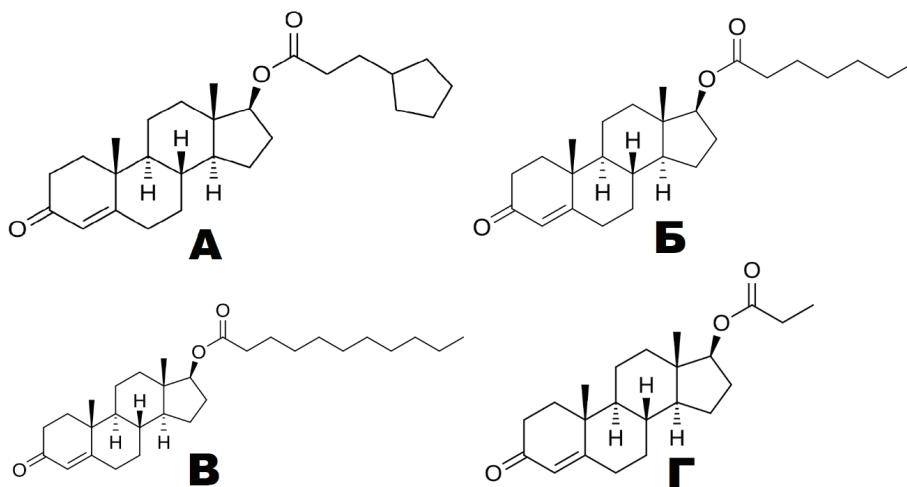
Мала структурна модификација тестостерона у нандролон (једна метил група мање) доводи да нандро-

лон има нешто јаче анаболичко дејство, али значајно смањено андрогено дејство од тестостерона, као и мању склоност да се конвертује у типичан женски хормон естрадиол. Ензим 5 α -редуктаза преводи нандролон у дихидронандролон, који има још мању андрогену активност, због чега га бодибилдери посебно радо користе. Нандролон је, као и сви други анаболици, забрањена супстанца према правилима Међународног олимпијског комитета (МОК). На тој листи је и андростенедион (Слика 3б), ендогени слаби андроген и главни интермедијер у биосинтези тестостерона, пошто је могуће да се (егзогено унет или ендогено настао) андростенедион претвори у нандролон (Patanè et al., 2020; Scendoni et al., 2024).

Многи познати спортисти и спортисткиње (спринтери, фудбалери и тенисери) су „пали” на допинг тесту након што је у њиховом урину детектован 19-норандростерон (5 α -естран-3 α -ол-17-он) (Слика 3в), главни метаболит нандролона, у концентрацији већој од дозвољене (2 ng/mL). Контрoверзе у вези позитивних тестова на овај метаболит нандролона, као и његових „природних” концентрација у телу код неких спортиста, могле би се објаснити кроз следеће могућности (Scendoni et al., 2024):



Слика 1. Структура молекула тестостерона и структурне модификације прстенова овог стероида које повећавају његову анаболичку активност и/или време задржавања у телу (прилагођено из Graham et al., 2008)



Слика 2. Структуре уобичајених деривата естерификованог тестостерона за интра-мускуларну депо примену, у третману урођеног или стеченог хипогонадизма (недовољна производња полних хормона), или у допинг сврхе: (А) тестостерон-ципионат; (Б) тестостерон-енантат; (В) тестостерон-ундеkаноат; (Д) тестостерон-пропионат

1. илегална употреба прекурсора нандролона;
2. ненамерно уношење прекурсора нандролона путем додатака исхрани;
3. уношење нандролона путем меса животиња које су биле „товљене” овим стероидом;
4. синтеза малих количина нандролона код жена из андростендиона, метаболичким путем који је нормално активан само током трудноће.

НАЧИН УПОТРЕБЕ АНАБОЛИЧКИХ СТЕРОИДА

1. Дозирање и режими употребе (Mottram & George, 2000)

1.1. Мегадозе (50–100 пута веће од нормалних)

Корисници често узимају дозе далеко веће од медицински прописаних (500–1000 mg тестостерона недељно, док је терапијска доза 50–100 mg). Циљ коришћења супрафизиолошких концентрација стероидних андрогена је максимално стимулисање раста и снаге мишића, што значајно повећава ризик од нежељених ефеката (видети касније).

1.2. Циклуси од 4–12 недеља

Стероидни циклуси су ограничени временски периоди када корисници узимају анаболике, обично 1 до 3 месеца, током којих се најчешће примењује више стероидних анаболика, који се смењују, некада и комбинују (пример у Табели 2). Након једног циклуса следи пауза како би се телу омогућило да се опорави. Циклуси се обично планирају ван такмичарске сезоне како би се постигли максимални резултати до времена такмичења.

1.3. Пирамидално дозирање

У овој шеми дозе анаболичких стероида се постепено повећавају (нпр. сваке недеље) до средине циклуса (највеће вредности), а затим се постепено смањују до укидања. Сматра се да се овако смањује шок за тело и

олакшава повратак природне хормонске равнотеже након завршетка циклуса, иако научни докази за ову тврдњу нису чврсти.

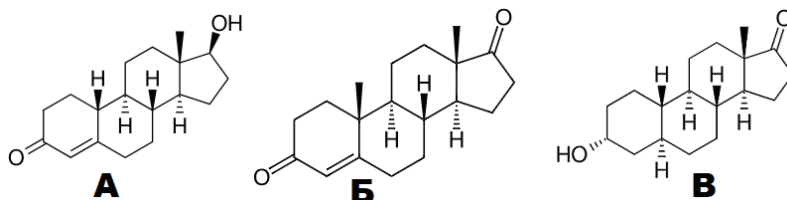
1.4. Паузе („одмор од дроге”)

Након циклуса, корисници намерно праве паузу од стероида (2–3 месеца или више).

Циљ је да тело поново покрене сопствену производњу тестостерона и смањи дугорочне штетне ефекте уношења нефизиолошких доза анаболика. Током овог периода, често се спроводи постциклична терапија. Она се састоји од комбинације лекова и суплемената који укључују: кломифен-цитрат или клоמיד (лек за повећање природног нивоа тестостерона и смањење нивоа естрогена); тамоксифен-цитрат, тј. нолвадекс (лек за смањење нивоа естрогена); хумани хорионски гонадотропин (за повећање нивоа тестостерона и за подршку производњи сперме); инхибиторе ароматаза (за смањење производње естрогена у телу); цинк, витамин Д и магнезијум (суплементи за подршку производњи тестостерона у телу).

2. Комбиновање више стероида – „стекинг” (енгл. „stacking”) (Mottram & George, 2000):

„Стекинг” је колоквијани израз („слагање” у слободном преводу) који подразумева истовремено узимање више различитих анаболичких стероида у једном (истом) циклусу, како би се постигли јачи и бржи ефекти њиховог деловања у побољшању раста мишићне масе и спортских перформанси тела. Корисници често комбинују: оралне стероиде (нпр. метандиенон, станозолол) са брзим и споро делујућим инјекционим стероидима (редом, тестостерон-енантат, нандролон-деканат). Стероидима се често додају и друге супстанце: хумани хорионски гонадотропин (за одржавање функције тестиса), антиестрогени (нпр. тамоксифен, за спречавање гинекомастије), хормон раста и инсулин (за додатни раст и регенерацију мишићног ткива након интензивног напора).



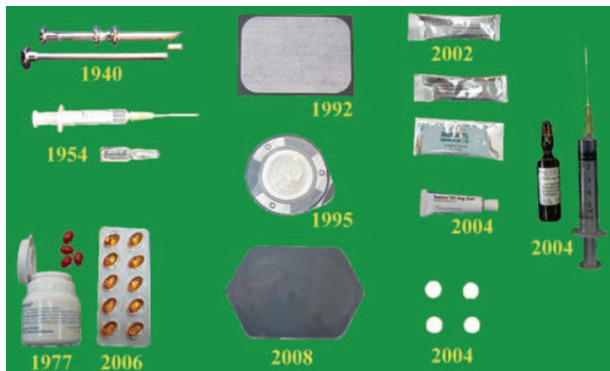
Слика 3. Хемијска структура: нандролона (А), првог синтетичког стероидног анаболика; андростендиона (Б), метаболичког прекурсора андрогена; 19-норандростерона (В), главног метаболита нандролана, чији садржај у урину је индикатор допинговања нандролоном

Табела 2. Типичан режим употребе стероидних анаболика као допинг средстава (преузето из Томић, 2009)

Препарат анаболика	Дозирање (начин примене)	Недеља циклуса											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
сустанон	250 mg/mL недељно (интрамускуларно)	1	1	1	1								
метандиенон	5 mg дневно (орално)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
нандролон (као деканоат)	100 mg/mL недељно (интрамускуларно)				2	2	2	2	2				
станозолол (суспензија)	100 mg/mL недељно (интрамускуларно)									3	3	3	3

Циљ слагања је постизање синергијског ефекта комбинације различитих стероида, других допинг средстава (стимуланти централног нервног система) и суплемената, тј. да се максимизира очекивани анаболички ефекат, а истовремено смање нежељени ефекти сваке појединачне супстанце. Слагање се често комбинује са пирамидалним режимима дозирања и циклусима употребе стероидних анаболика који трају неколико недеља. Иако је оваква пракса уобичајена међу корисницима који нису медицински радници, она није поткрепљена научним доказима о ефикасности или безбедности, и значајно повећава ризик од тешких, чак и фаталних, здравствених последица употребе анаболика (видети даље).

3. Начини примене анаболичких стероида (Слика 4) (Mottram & George, 2000):



Слика 4. Различити препарати тестостерона и године када су они постали доступни за клиничку употребу (Nieschlag & Behre, 2010)

3.1. **Орално** (таблете):

- Модификовани стероиди (нпр. метандиенон, станозолол);

- Ретко се препоручује због токсичности (осим у облику ундеканоата).

3.2. **Инјекционо**: Анаболички стероиди се обично убризгавају у бутину или задњицу (интрамускуларна апликација), никада у вене. Неколико примера:

- Естри тестостерона (Слика 2): 50–400 mg, 1–4 пута месечно;

- Тестостерон-ундеканоат се апликује као уљани раствор (рицинусово уље) дубоко у мишић; споро ослобађање (да уље не доспе у крв, што изазива кашаљ, отежано дисање и бол у грудима) и деловање хормона; 750 mg почетна доза, потом сваких 10 недеља нова доза анаболичког андрогена;

- Нандролон (у облику деканоата) и дромостанолол (обично као пропионат): 200–400 mg недељно.

3.3. **Гелови и креме**:

- 33–70 mg стероидног анаболика дневно, ујутру;

- Предност овакве употребе је равномерно отпуштање активне супстанце, чиме се избегавају нагле осцилације концентрације стероидног анаболика у крви;

- Често се користе као замене за инјекције.

3.4. **Трансдермални фластери**:

- 50–100 mg дневно стероидног анаболика: наносе се на раме, руку или стомак;

- Погодни су за дуготрајну хормонску терапију, иако истраживања показују да су мање ефикасни за уравнотежење хормонске хомеостазе (код

хипогонадизма) од инјекционог давања деривата тестостерона.

ДЕТЕКЦИЈА АНАБОЛИЧКИХ СТЕРОИДА

Тестирање узорака спортиста (најчешће њихове крви и урина) на присуство забрањених супстанци спроводи се на такмичењима или ван такмичења, без претходне најаве. Анаболички-андрогени стероиди су забрањени у оба случаја. Иако су развијене савремене аналитичке методе за детекцију анаболика или њихових метаболита, индустрија допинг средстава, која обећава врхунске резултате и рекорде, тј. неетичку конкурентску предност, уз избегавање позитивног допинг теста, захтева њихово стално усавршавање (Huml et al., 2021; Harries et al., 2024).

Коришћењем аналитичких метода није могуће разликовати екзогене (узете као допинг) и ендogene (створене у телу) молекуле тестостерона. Због тога злоупотреба његовог коришћења у спорту дуго није могла бити санкционисана. Овај проблем је решен на основу података о метаболизму тестостерона, пошто током његове биосинтезе настају приближно једнаке количине тестостерона (Т) и његовог неактивног епимера епитестостерона (Е). Природни однос Т/Е је 1:1 (највише 2:1), тако да се узорак урина са односом Т/Е већим од 4:1 сматра позитивним на унет тестостерон (Томић, 2009).

1. **Директна хемијска детекција стероидних анаболика** (урин, крв, длака):

- GC-MS (гасна хроматографија спрегнута са масеном спектрометријом) и LC-MS/MS (течна хроматографија спрегнута са тандемском масеном спектрометријом) су златни стандарди за детекцију стероида и њихових метаболита у урину. Узорци се подвргавају екстракцији, дериватизацији, затим хроматографији и масеној спектрометрији, што омогућава високу осетљивост (и испод pg/mL) и селективност анализе;

- Серум се такође користи као додатни узорак за потврду допинга, посебно када је потребно да се у крви детектују тестостерон, естри тестостерона и синтетички стероидни анаболици. Претходна обрада узорка најпре обухвата таложење протеина. LC-MS/MS методе типично омогућавају квантификацију у опсегу 0,05–0,5 ng/mL;

- Длака као узорак пружа дужи прозор детекције забрањених супстанци. У студијама на коњима, UPLC-HRMS (течна хроматографија и масена спектрометрија високих перформанси) и GC-MS/MS су искоришћени за детекцију више од 110 стероида и њихових естара на нивоима испод ppb (један део на милијарду).

2. **Спортски биолошки пасош** (Dragčević i sar. 2024):

- Од 1. јануара 2019. године увођење биолошког пасоша постало је обавезно за све антидопинг агенције и спортове, што подразумева лонгитудинално праћење биомаркера у крви и урину професионалног спортисте;

- Неки биопараметри од интереса, уз природне андрогене и њихове метаболите (нпр. тестостерон, епитестостерон или 5 α -андростендиол), јесу и хематолошки (као хематокрит) и ендокринолошки маркери (инсулину-сличан фактор раста 1);

– Стручњаци задужени за праћење спортиста прате ове параметре током времена, са циљем да посумњају на допинг ако приметите одступања од референтних вредности стандардизованих за сваког спортисту појединачно. Тако, спортиста може бити проглашен кривим чак иако се не докаже постојање забрањених супстанци (најчешће стероидних анаболика) у узорку његовог урина или крви.

3. Индиректна метода биолошког теста (AR CALUX®) (Houtman, 2009):

– AR CALUX биолошки тест мери ниво андрогене сигнализације путем активације андрогених рецептора (AR), а не директно концентрацију супстанце у узорку за анализу, користећи CALUX хелијске линије (Chemically Activated LUCiferase eXpression);

– Ова метода је погодна за детекцију нових или „дизајнерских” стероида, чија је хемијска структура непозната и стога се не могу одредити стандардизованим есејима.

4. Изазови у детекцији стероидних анаболика и други фактори од значаја:

– Генетски полиморфизам (делеција гена UGT2B17) може утицати на метаболизам тестостерона и отежати детекцију његових метаболита стандардним тестовима;

– Маскирајући агенси, пре свега диуретици (повећавају диурезу: производњу и излучивање мокраће), такође на листи забрањених супстанци у спорту, као и манипулације урином могу искомпликовати тумачење добијених резултата.

НЕЖЕЉЕНИ ЕФЕКТИ ЗЛОУПОТРЕБЕ ААС

Нежељене последице немедицинског коришћења класичних анаболика (Табела 3) у рангу су од безбедних (акне на леђима), веома озбиљних (вирилизација),

некада и фаталних по живот човека (инфаркт миокарда или депресија која води суициду). Степен и тежина штетних ефеката пре свега зависи од пола корисника, избора и начина уношења стероидних анаболика, коришћене дозе, броја и трајања стероидних циклуса, као и различите осетљивости људи на ефекте андрогена (разлике у генетским факторима, старости и општем здравственом стању) (Томић, 2009; van Amsterdam et al., 2010).

Показано је да сви стероидни андрогени у високим дозама сузбијају ендегену секрецију гонадотропина (протеинских хормона какви су фоликулостимулишући хормон и лутеинизирајући хормон), што негативно утиче на рад тестиса. Последице смањења лучења тестостерона и производње сперматозоида узрок је смањене плодности, док дуготрајна злоупотреба стероидних анаболика може трајно да смањи величину тестиса (van Amsterdam et al., 2010).

Гинекомастија (бенигно увећање ткива мушких дојки, услед вишка естрогена у односу на тестостерон, доводи до раста жлезданог и/или масног ткива, чинећи груди сличним женским) настаје због метаболичке трансформације андрогена у естрогене (реакција ароматизације). Она је једна од уобичајених последица дуготрајнијег коришћења стероидних анаболика и нарочито је изражена код бодибилдера. Кумулативно се развија, коришћењем анаболика из циклуса у циклус, при чему је процес неповратан. Уколико је структура стероидног прстена А модификована (као код дихидротестостерона), такав анаболички-андрогени стероид не подлеже ароматизацији и не изазива гинекомастију (Kisman, 2008).

Орални стероидни анаболици алкиловани у 17 α положају (нпр. станозолол) су хепатотоксични, што се најпре манифестује повећањем серумске концентрације аланин-амино-трансферазе (АЛТ) и аспартат-амино-трансферазе (АСТ), чије се вредности нормализују

Табела 3. Нежељени ефекти употребе стероидних анаболика као допинг средства (прилагођено из Томић, 2009)

Део организма	Штетни ефекти
Ендокрини систем	Одрасли мушкарци: смањено лучење тестостерона и смањени број сперматозоида (углавном повратно); дужим коришћењем: неповратно смањење величине тестиса и гинекомастија Адолесценти (код оба пола): рано затварање епифиза дугих костију и престанак раста Жене: вирилизација (повећана маљавост лица и тела), продубљивање гласа (неповратно код дуготрајне примене), смањење груди, аменореја (одсуство менструалног циклуса), ћелавост мушког типа, хипертрофија клиториса
Гастроинтестинални систем	Хепатотоксичност: повећане концентрације ензима АЛТ и АСТ, хепатитис, тумори јетре
Кардиоваскуларни систем	повећани ниво ЛДЛ-холестерола, а смањени ХДЛ-холестерол, артеријска хипертензија, кардиоваскуларне болести (инфаркт миокарда и срчана инсуфицијенција са смртним исходом)
Централни нервни систем	повећани либидо, раздражљивост, маније, повећана агресија и ратоборност; зависност и синдром одвикавања могу бити праћени тешком депресијом и самоубиством
Кожа	акне, хирзутизам (појачана маљавост код жена), стрије (линије на кожи услед истезања и пуцања влакана еластина у дермису)
Други делови тела	инфекције услед непрофесионалног или нехигијенског руковања инјекционим препаратима стероида, ризик од коришћења ветеринарских препарата и препарата из илегалних лабораторија

након прекида употребе стероида. Дуготрајнија употреба стероидних-андрогених анаболика у описаним „спортским режимима” може довести и до хепатитиса, трајног оштећења ткива јетре, као и развоја (бенигну и малигну) тумора јетре (Kisman, 2008).

У изузетно високим дозама, стероидни анаболици изазивају хипертрофију срчаног мишића, која може узнапредовати до слабости (инсуфицијенције) срца и смрти. Задржавање воде и електролита под дејством анаболика погодује развоју артеријске хипертензије (повећани крвни притисак), уз повећани ризик од тромботских догађаја (тј. локалног крвног угрушка), због повишене концентрације „лошег холестерола” (липопротеина мале густине, ЛДЛ честице), смањеног „доброг холестерола” (липопротеина велике густине, ХДЛ честице) и/или повећаног хематокрита (удео еритроцита у укупној запремини крви) (Sjöqvist et al., 2008).

Коришћење анаболичких стероида може и да неповољно утиче на психу корисника. Иако помажу спортистима и рекреативцима да тренирају јаче, чешће и дуже, повећавајући њихово самопоуздање, изазивајући еуфорију, а смањујући умор, ови ефекти могу да поприме размере маније или параноје, и да доведу до других промена у расположењу, као што је повећана агресија (Sjöqvist et al., 2008; van Amsterdam et al., 2010).

ЗАКЉУЧАК

Практична употреба анаболичких стероида у спорту и шире, далеко превазилази медицинску праксу. Иако су првобитно развијени у терапеутске сврхе (третман хипогонадизма и губитка мишићне масе), данас се користе за повећање мишићне масе, снаге и естетског изгледа тела, често без икаквог надзора.

Корисници примењују сложене обрасце употребе стероидних анаболика, као што су: (а) стероидни циклуси (6–12 недеља са паузама); (б) слагање анаболика (узимање више стероида истовремено); (в) пирамидално дозирање анаболика (постепено повећање, а затим смањење дозе до укидања). Многи користе и друге супстанце поред стероида, као што су: хумани хорионски гонадотропин, лек тамоксифен, хормон раста, инсулин, диуретици, да би појачали жељене ефекте анаболичких стероида или сакрили трагове њихове употребе.

Упркос покушајима контроле уношења путем тестирања, као и забранама употребе у професионалном спорту (од стране МОК-а и WADA-е), корисници се вешто прилагођавају тестирању, користећи стероиде ван такмичарске сезоне и бирајући препарате са краћим временом задржавања у организму (као нандролон).

Забрињавајућа је све већа употреба анаболичких стероида међу рекреативним корисницима, адолесцентима и децом школског узраста, при чему је приступ младих људи информацијама о њиховој употреби често непоуздан и заснован на подацима са интернета и из теретана, а не на лекарским саветима. Додатни проблем је истовремено узимање више биоактивних супстанци: комбиновање стероида са психоактивним и рекреативним дрогама (марихуана и кокаин), као и са алкохолом, што додатно повећава здравствене ризике њиховог коришћења.

Без обзира на многобројне нежељене ефекте коришћења анаболичких стероида (Слика 5), корисници су убеђени да су користи (пре свега атрактивнији физички изглед и снага тела) вредне ризика. Ова перцепција, заједно са недостатком образовања и регулације, отежава искорењавање злоупотребе анаболичких стероида.



Слика 5. Могући штетни ефекти стероидних анаболика код бодибилдера (Martin et al. 2018)

Abstract

PRACTICAL ASPECTS OF THE (MIS) USE OF ANABOLIC STEROIDS AND THEIR ADVERSE EFFECTS

Luka KEZIĆ, University of Belgrade – Faculty of Chemistry

Anabolic-androgenic steroids are a group of synthetic substances obtained by chemical modifications of the structure of the testosterone molecule. They have a strong ergogenic effect, i.e., they increase the physical performance of the human body, which is why they are not allowed (as doping agents) in sports. The abuse of anabolic steroids for non-medical purposes (1–5 % among the general population in most Western countries, especially among young people) is becoming an increasing problem for the social community. This paper provides a brief overview of the basics of the structure and anabolic action of steroids, their pharmacological characteristics, and detection as doping in sports, with special emphasis on their practical application and the side effects and health risks that may occur.

Keywords: testosterone, anabolic steroids, anabolic use, adverse effects

Напомена: Овај стручни рад је проистекао из семинарског рада сличног назива, који сам представио на изборном предмету *Биохемија спортиста и физичке активности* (<https://www.chem.bg.ac.rs/predmeti/427B2.html>). Захваљујем се предметном наставнику, в. проф. др Милану Р. Николићу, на помоћи у припремању овог рукописа.

ЛИТЕРАТУРА

- Barroso, O., Mazzoni, I., & Rabin, O. (2008). Hormone abuse in sports: the antidoping perspective. *Asian J. Androl.*, 10 (3), 391-402. doi: 10.1111/j.1745-7262.2008.00402.x
- Dragčević, D., Pandžić Jakšić, V., & Jakšić, O. (2024). Athlete biological passport: longitudinal biomarkers and statistics in the fight against doping. *Arh. Hig. Rada. Toksikol.*, 75 (1), 24-31. doi: 10.2478/aiht-2024-75-3793
- Graham, M. R., Davies, B., Grace, F. M., Kicman, A., & Baker, J. S. (2008). Anabolic steroid use: patterns of use and detection of doping. *Sports Med.*, 38 (6), 505-25. doi: 10.2165/00007256-200838060-00005
- Harries, R. L., De Paoli, G., Hall, S., & Nisbet, L. A. (2024). A review of the analytical techniques for the detection of anabolic-androgenic steroids within biological matrices. *WIREs Forensic Sci.*, 6:e1504. doi: 10.1002/wfs2.1504
- Houtman, C. J., Sterk, S. S., van de Heijning, M. P., Brouwer, A., Stephany, R. W., van der Burg, B., & Sonneveld, E. (2009). Detection of anabolic androgenic steroid abuse in doping control using mammalian reporter gene bioassays. *Anal Chim Acta.*, 637 (1-2), 247-58. doi: 10.1016/j.aca.2008.09.037
- Huml, L., Tauchen, J., Rimpelová, S., Holubová, B., Lapčík, O., & Jurásek, M. (2021). Advances in the Determination of Anabolic-Androgenic Steroids: From Standard Practices to Tailor-Designed Multidisciplinary Approaches. *Sensors.*, 22 (1), 4. doi: 10.3390/s22010004
- Kicman, A. T. (2008). Pharmacology of anabolic steroids. *Br J Pharmacol.*, 154 (3), 502-21. doi: 10.1038/bjp.2008.165
- Martin, S. J., Sherley, M., & McLeod, M. (2018). Adverse effects of sports supplements in men. *Aust Prescr.* 41 (1), 10-13. doi: 10.18773/austprescr.2018.003.
- Mottram, D. R., & George, A. J. (2000). Anabolic steroids. *Baillieres Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.*, 14 (1), 55-69. doi: 10.1053/beem.2000.0053
- Nieschlag, E., & Behre, H.M. (2010). Testosterone Therapy. In: Nieschlag, E., Behre, H.M., Nieschlag, S. (eds) *Andrology*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78355-8_21
- Patanè, F. G., Liberto, A., Maria Maglito, A. N., Malandrino, P., Esposito, M., Amico, F., Cocimano, G., Rosi, G. L., Condorelli, D., Nunno, N. D., & Montana, A. (2020). Nandrolone Decanoate: Use, Abuse and Side Effects. *Medicina (Kaunas)*, 56 (11), 606. doi: 10.3390/medicina56110606
- Scendonì, R., Ricchezza, G., Mietti, G., Cerioni, A., Frolidi, R., Cingolani, M., Buratti, E., & Cippitelli, M. (2024). Exogenous Versus Endogenous Nandrolone in Doping Investigations: A Systematic Literature Review. *Appl. Sci.*, 14 (22), 10641. doi:10.3390/app142210641
- Sjöqvist, F., Garle, M., & Rane, A. (2008). Use of doping agents, particularly anabolic steroids, in sports and society. *Lancet.*, 371 (9627), 1872-82. doi: 10.1016/S0140-6736(08)60801-6
- Tomić, M. (2009). Anabolički steroidni i peptidni hormoni kao doping u sportu. *Arh. farm.*, 59 (2-3), 238-250.
- van Amsterdam, J., Opperhuizen, A., & Hartgens, F. (2010). Adverse health effects of anabolic-androgenic steroids. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 57 (1), 117-23. doi: 10.1016/j.yrtph.2010.02.001



Никола ТЕРЗИЋ, студент IV године основних академских студија Биохемије

Универзитет у Београду – Хемијски факултет

Е-пошта: nikola9terzic@gmail.com

ПРИРОДНО ВИСОК НИВО ТЕСТОСТЕРОНА КОД ПРОФЕСИОНАЛНИХ СПОРТИСТКИЊА: УЗРОЦИ, ПОСЛЕДИЦЕ И КОНТРАВЕРЗЕ

ИЗВОД

Светска атлетска федерација увела је 2011. године контраверзни Правилник о хиперандрогенизму, у покушају да се позабави озбиљним проблемом: обезбеђивањем „фер“ такмичења у женској атлетици. Повод за доношење овог правилника било је учешће спортисткиња са разликама у полном развоју, конкретно, различитим природним нивоима типичног мушког хормона и снажног анаболика тестостерона. Резултат је био фактичка забрана да се неке врхунске спортисткиње даље такмиче, те небројене дискусије и правни спорови о питањима етике, морала и дискриминације у спорту које и данас трају, што је и тема овог стручног рада.

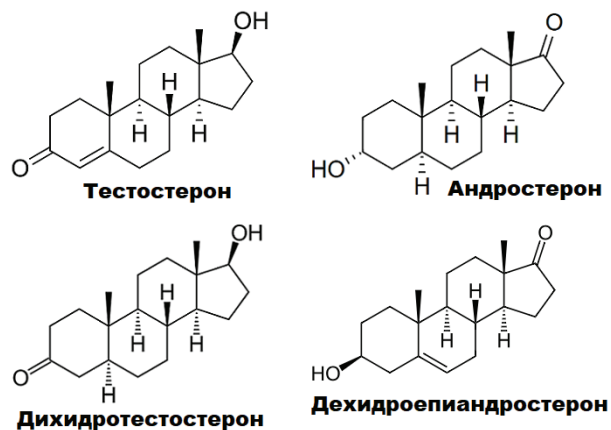
Кључне речи: *тестостерон, хиперандрогенизам, спортисткиње, дискриминација у спорту*

ТЕСТОСТЕРОН – ОСНОВНИ ПОЛНИ ХОРМОН И АНАБОЛИК

Тестостерон (17 β -хидроксиандрост-4-ен-3-он) је један од неколико природно заступљених андрогених (мушких полних) хормона у телу човека (Слика 1). Одрасли мушкарци у просеку имају значајно већу концентрацију тестостерона у серуму (270 – 1000 ng/dL) у односу на одрасле жене (15 – 70 ng/dL). Већину тестостерона у телу мушкарца синтетишу Лајдигове ћелије у тестисима, у присуству лутеинизирајућег хормона. Још увек није комплетно описан механизам регулације производње тестостерона код жена, односно, није утврђена повратна спрега која контролише овај процес. Половина свих андрогена који настају код жена јесу андростерон (3 α ,5 α -3-хидроандростан-17-он) и

дехидроепиандростерон (3 β -хидроксиандрост-5-ен-17-он), које заједно са тестостероном производе јајници и надбубрежне жлезде (Rojas-Zambrano et al., 2025).

Кључна улога тестостерона код жена јесте да је метаболички прекурсор у биосинтези естрадиола, најзаступљенијег женског полног хормона (Davis & Wahlin-Jacobsen, 2015). Тестостерон и други андрогени хормони, попут дихидротестостерона (Слика 1), везују се за рецепторе за андрогене, који су нуклеарни (једарни) рецептори, односно, они након активације делују као транскрипциони фактори. Везивањем тестостерона за своје рецепторе у читавом телу мења се експресија многих гена, што се испољава у снажним анаболичким и андрогеним (маскулинизирајућим) ефектима. Анаболички ефекти односе се на поспешивање метаболичких процеса укључених у раст ткива, нарочито мишићног, уз повећање снаге, али и агресивности. Андрогени ефекти подразумевају развој типичних мушких секундарних полних карактеристика – раст длака на лицу и телу, дубљи глас, шира рамена и већа висина тела, израженија Адамова јабучица, промене у расподели резервних липида – што се све заједно манифестује као типична мушка грађа.



Слика 1. Структурне формуле неких андрогених хормона у телу човека

С обзиром на описане ефекте деловања, неоспорив је потенцијал коришћена егзогено унетог тестостерона и његових деривата за побољшање перформанси у професионалном спорту, због чега је његова употреба забрањена (<https://www.adas.org.rs/doping-kontrola/lista-zabranjenih-doping-sredstava/>). Теже је, међутим, одредити да ли варијације у ендогеном (природно синтетисаном) тестостерону имају директан позитиван утицај на перформансе у спорту и да ли се овај утицај разликује код мушкараца и жена (Wood & Stanton, 2012).

СКОРАШЊЕ ПОЛЕМИКЕ У ЕЛИТНОМ ЖЕНСКОМ СПОРТУ

У епицентру дискусија о предностима које може да пружи повишени ендогени тестостерон су спортови снаге професионалних спортисткиња, нарочито у протеклих неколико година као последица друштвених промена које карактеришу 21. век. Најпознатији и најскорији пример јавног преиспитивања нечијег

права да учествује у професионалном спорту, а због стално повишеног нивоа ендогеног тестостерона, јесте случај алжирске боксерке Имане Калиф (https://www.instagram.com/imane_khelif_10/). Њој је 2023. године Светска боксерска федерација (енгл. World Boxing) онемогућила учешће на светском првенству у Индији (али и на следећем првенству две године касније, код нас у Нишу). Поједностављено образложење је било да „није доказано да је биолошка жена”. Међународни олимпијски комитет (МОК) поводом целе ситуације се огласио саопштењем да „Свака особа има право да се бави спортом без дискриминације”. Имане се на летњим Олимпијским играма 2024. године у Паризу нашла на мети различитих оптужби, од тога да је интерсекс, особа рођена са полним карактеристикама (гениталије, кариотип, ниво полних хормона, унутрашњи репродуктивни органи) које се не уклапају у типичне медицинске дефиниције мушког или женског пола, до тога да је заправо транс жена (мушки пол по рођењу, али женски родни идентитет). Упркос покушајима да се оповргне легитимитет њених победа (противница у осмини финала је одустала од борбе, недуго након почетка меча, тврдећи да Имане „удара као мушкарац”), она је освојила златну медаљу на олимпијади те године (Bouaziz, 2024).

Имане није први, вероватно нити последњи такав случај дискриминације жена у спорту. Дути Чанд (<https://www.instagram.com/duteechand/>), индијска спринтерска, шампионка из Одесе, 2014. године је такође суспендована због „хиперандрогенизма” – природне генетске црте које су правила Светске атлетске федерације (ИААФ, енгл. International Association of Athletics Federations) означила као недозвољене. Без доказа о побољшању перформанси у спорту којим се бави, Чанд је била приморана да смањи ниво тестостерона у свом телу или престане с такмичењем. Сматрајући то родном и здравственом дискриминацијом, Дути је поднела жалбу Суду за спортску арбитражу (енгл. The Court of Arbitration for Sport) у Лозани, Швајцарска. Године 2015. је добила случај, што је резултовало у привременој забрани примене таквих правила док не буду испуњени услови за њихово спровођење, односно док сва оваква, или реформисана правила не буду подржана научним доказима. Таква одлука отворила је пут несметаном такмичењу и за друге спортисткиње с високим природним нивоима андрогених хормона. Дути је наставила успешну спринтерску каријеру, постајући симбол отпора против неоснованих и неправедних прописа (Sudai, 2017).

Кастер Семена (<https://www.instagram.com/castersemenya800m/>), јужноафричка атлетичарка и двострука олимпијска шампионка на 800 метара (2012. године у Лондону и 2016. године у Рију), 30. узастопну победу остварила је у Дијамантској лиги у Дохи, 2019. године је водила сличне правне битке против ИААФ. Рођена са разликама у сексуалном развоју (енг. Disorders of Sex Development), ретко стање код само око 1,7 % популације, она није могла више да се такмичи у својој дисциплини од средине 2019. године. Тада је ИААФ увела ново строго правило о ограниченом нивоу тестостерона у серуму за жене, за тркачке дисциплине од 400 метара до једне миље. ЦАС и Савезни врховни

суд Швајцарске потом су одбили све жалбе њених адвоката. Представници ИААФ тврдили су да је такво правило, од 2023. године проширено на све женске атлетске дисциплине, неопходно како би се обезбедила праведна конкуренција и заштитила женска категорија у спорту. Семења је потом поднела тужбу Европском суду за људска права у Стразбуру, који је делимично пресудио у њену корист, тиме да држава Швајцарска није обезбедила правичан поступак (<https://hudoc.echr.coe.int/eng#%7B%22itemid%22:%5B%222001-226011%22%5D%7D>). Светска атлетска федерација је одбила да коментарише ову пресуду. Случај Кастер Семење, која сада има пуних 35 година, биће дискутован више касније.

Један од примера дехуманизирајуће методе дијагностике хиперандрогенизма, што је медицинско стање које карактерише вишак андрогена, мушких хормона присутних и код мушкараца и код жена, приказан је на Слици 2. Овај протокол, усвојен 2011. године у оквиру ИААФ, јесте пример објектификације жена у спорту, које су оцењиване, између осталог, по маљавости на различитим деловима тела (Sudai, 2017).

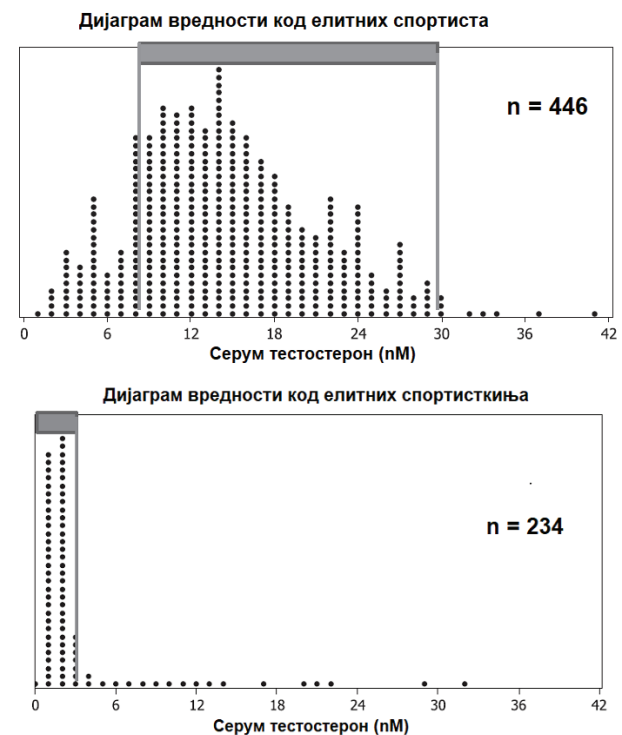
Део тела	Датум претраге:				
ГОРЊА УСНА					Резултат
БРАДА					Резултат
ГРУДИ					Резултат
ГОРЊИ АБДОМЕН					Резултат
ДОЊИ АБДОМЕН					Резултат
РАМЕНА					Резултат
НОГЕ					Резултат
ГОРЊИ ДЕО ЛЕЂА					Резултат
ДОЊИ ДЕО ЛЕЂА					Резултат
Укупан резултат:					

Слика 2. Шаблон за процену нивоа длакавости код жена, према прописима Светске атлетске федерације (адаптирано из Sudai, 2017)

ПРИРОДНЕ ВАРИЈАЦИЈЕ У НИВОУ ТЕСТОСТЕРОНА У ТЕЛУ СПОРТИСТА

Споменути протокол за дијагностику хиперандрогенизма код спортисткиња развијен је у периоду када није било довољно статистички значајних

података о расподели концентрације ендогеног (природног) тестостерона у телу човека. До овог закључка дошли су Хели и сарадници у свом раду из 2014. године, колоквијално названим ГХ-2000 студија (Healy et al., 2014). Поред многих других физиолошких параметара, једна целина њихових истраживања била је експлицитно фокусирана на ниво ендогеног тестостерона код врхунских спортиста оба пола. Од 446 мушких елитних спортиста укључених у студију (Слика 3), 74 је имало ниво тестостерона у серуму нижи од 8,4 nmol/L, што се сматра доњом границом нормалне референтне вредности. Дакле, 16,5 % мушкараца, успешних спортиста, имало је нижи ниво тестостерона од „нормалног”.

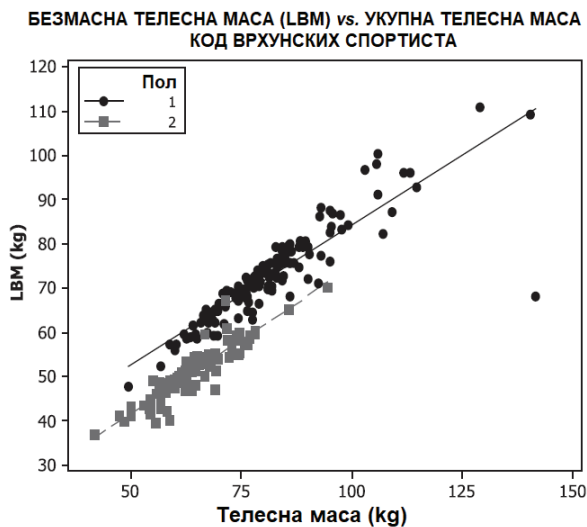


Слика 3. Графикони расподеле садржаја тестостерона у серуму мушких (горе) и женских (доле) елитних спортиста; свака тачка представља до три појединачне вредности мерења (адаптирано из Healy et al., 2014)

Код жена, 13,7 % укључених спортисткиња у студији (32 од укупно 234; Слика 3) имале су виши ниво тестостерона у серуму од горње границе нормалне референтне вредности за жене (2,7 nmol/L) (Healy et al., 2014). Добијени подаци узети су са резервом због могућег утицаја фактора попут узраста испитаника. Даље, изгледа да постоји и значајна разлика у просечним концентрацијама тестостерона у серуму између мушких спортиста у различитим спортовима. Занимљиво, у просеку, спортисти који се баве дизањем тегова, атлетиком, хокејом или веслањем имали су ниже просечне концентрације тестостерона. Код спортисткиња није нађена слична правилност. Просечан ниво тестостерона међу спортисткињама био је готово двоструко већи од оног у општој популацији: 2,68 nmol/L у поређењу са 1,78 nmol/L. Међутим, утврђено је да је код жена упросечена вредност садржаја тестостерона у крви била померена ка већим вредностима и због

мањег броја испитаница, као и проблема у коришћеним аналитичким есејима (аутоматизовани имуноесеји), који су изгледа мање осетљиви при анализи (нижих) концентрација тестостерона, типичних за жене. Неке жене спортисти, чији су узорци више пута анализирани, су имале тестостерон у горњим границама вредности за мушкарце, тј. између 25 и 35 nmol/L, али се претпоставило да оне имају неки облик хиперандрогенизма, попут делимичне неосетљивости за тестостерон (Healy et al., 2014).

Слика 4. График зависности безмасне телесне масе



(енгл. LBM, lean body mass) наспрам укупне масе тела код женских (сиво/2) и мушких (црно/1) елитних спортиста (адаптирано из Healy et al., 2014)

Најзанимљивији закључак овог, до тада најсвеобухватнијег истраживања, био је да, када су у питању природни нивои тестостерона у телу човека, постоје неоспориве разлике између мушкараца и жена, али да не постоје јасне границе између полова, тј. да су присутна преклапања међу њима. Ипак, несумњиво је потврђено да постоје јасне и значајне разлике између мушкараца и жена у погледу телесне масе без масног ткива. У просеку, жене имају мање (око 85 %) безмасне телесне масе у поређењу са мушкарцима (100 %) исте укупне телесне масе. Такође, безмасна телесна маса је код оба пола показала линеарну зависност од укупне телесне масе (Слика 4) (Healy et al., 2014).

ПОЈАМ (НЕ)ФЕР ПРЕДНОСТИ У СПОРТУ

Предност је интегрални део спортских такмичења и, углавном, бројчана предност представља основни начин одређивања успеха у неком спорту или спортској дисциплини. На пример, спортиста А који је успео да на неком такмичењу подигне тег од 150 килограма остварио је бројчану предност у односу на спортисту Б који је подигао тег од 145 килограма, као и све друге спортисте коју су подigli још мању масу, на основу чега се одређује да је спортиста А победио у такмичењу.

Појам предности углавном се подразумева у сваком такмичарском спорту, мада су параметри који одређују „фер” предност некада проблематични. Бројчана

предност као исход неког такмичења са дефинисаним правилима назива се и атлетска перформанса, која се разликује од својствене предности (Hämäläinen, 2012). Управо зато је основни разлог за категоризацију спортиста унутар неке дисциплине, и то најчешће бинарну, на жене и мушкарце (али и тежинске категорије унутар истог пола), постизање меритократског система, у коме свако унутар једне категорије има исту шансу да оствари предност у односу на остале такмичаре. Када је у питању пол као критеријум поделе у спорту, Кампореси и Хамалаинен (Camporesi & Hämäläinen, 2021) закључују да постоје две премисе на којима се она заснива. Прва је да мушки спортисти имају предност у перформансама тела у односу на спортисткиње, због природно вишег нивоа тестостерона, а друга је да спортисткиње не би имале шансу за победом да нису у засебној категорији. Кроз даљи текст биће објашњено зашто оваква једноставна категоризација мора бити подложна дискусији, могуће и промени у блиској будућности.

Својствене предности, односно неједнакости, могу се грубо поделити на два начина: динамичне неједнакости које су подложне променама (нпр. узраст спортисте), као и стабилне неједнакости које се у принципу не мењају (разлике засноване на полу спортисте). Таква класификација неједнакости има своје проблеме, поготово у контексту модерне медицине, што може бити основа за конструкцију бољег (или лошијег) система категоризације свих спортиста. Дакле, за сада можемо закључити да су стабилне неједнакости (оне са којима смо рођени; разлике у физичким карактеристикама и таленту за неки спорт) потенцијал за развој динамичних неједнакости. Оваква теоријска основа је корисна за сагледавање и поређење случаја Кастер Семење са познатим спортистима, попут Јамајчанина Јусеина Болта (и даље светски рекордер на 100 и 200 метара, иако је одавно у спортској пензији) и Финца Еера Мантуранта (некадашњи најбољи скијаш-тркач) (Hämäläinen, 2012; Camporesi & Hämäläinen, 2021).

У спринт тркама композиција мишићних влакана, односно количина мишићних влакана који се брзо контрахују (тип II) може дати предност спортисти. Ово представља стабилну својствену предност која је последица присуства једне алелне варијанте гена за α -актинин типа 3 (актин-везујући протеин, који убрзава моћне контракције у гликолитичком типу II скелетних мишићних влакана). Ова алелна варијанта ACTN3 гена више је присутна код елитних спортиста који се баве спринтом и дизањем тегова. Када се упореде успеси на такмичењима Јусеина Болта (који има претходно описану варијанту алела) и Кастер Семење (са специфичним обликом ДСД, познатом као 46,XY 5-ARD, недостатак ензима 5 α -редуктазе), може се закључити да је Јусеин имао значајну предност у перформанси у односу на спортисте са којима се такмичи, мада легитимитет његових победа никад није преиспитан на начин као код Семењин (Camporesi & Hämäläinen, 2021).

Сличан је случај био код Еера Мантуранта (Ееро Mäntyranta), који је поседовао стабилну својствену предност у облику природно повишеног нивоа хематокрита (удео еритроцита у укупној запремини

крви). Иако су се стандарди мењали, данас се спортска предност као последица повишеног хематокрита процењује на личном нивоу сваког појединачног спортисте, односно, забрањује се учествовање у такмичењу само уколико је нечији хематокрит повишен у односу на природне амплитуде у овом параметру тог специфичног спортисте (тада се сумња на допинг). У току суђења Семења *vs.* ЦАС један од сведока навео је да не постоји нити једна јасна квалитативна разлика између генетских варијација које узрокују хиперандрогенизам код неких жена и других генетских варијација код спортиста (Camporesi & Härmäläinen, 2021). Из свега наведеног, јасно је да су неопходни кохерентнији и праведнији стандарди за дефинисање фер предности у (неком) спорту.

ЗАКЉУЧАК

Нема убедљивих доказа да жене са неким обликом хиперандрогенизма имају стабилну својствену предност у односу на жене чије су количине ендогеног тестостерона у границама „нормале”. И уколико се претпостави да ниво ендогеног тестостерона пружа предност неким спортистима, лицемерно је такву предност сматрати као нефер, имајући у виду преседане које су поставили спортисти попут Јусеина Болта и Еро Мантуранта. Кампореџи и Хамалаинен (Camporesi & Härmäläinen, 2021) наведе три могућа решења за овај проблем:

1. Одржање једнакости прилика унутар постојећих категорија, дефинисањем горњих граница количине неке својствене предности (нпр. нивоа ендогеног тестостерона у крви). Медицинске интервенције у сврху уклапања у ове критеријуме биле би неопходне. Ово решење се тренутно највише користи (неке спортисткиње, као Семења, су одбиле да вештачки смање садржај тестостерона свом телу!), али не постоји конзистенција у његовој примени за сваки анализирани случај „нефер” предности;

2. Одржање једнакости прилика унутар постојећих категорија, подизањем доњих граница количине неке својствене предности. Ова опција такође би захтевала медицинске интервенције, чак и допинг, ради уклапања свих такмичара у високе стандарде за неку спортску дисциплину;

3. Детаљнију класификацију спортиста у мање групе, у којима би сви они имали приближно једнаке нивое неке својствене предности.

Аутори ове студије разумно закључују да је трећа опција вероватно најпожељнија (Camporesi & Härmäläinen, 2021). Ипак, истакао бих апсурдност оваквог решења. Уколико се тежи конзистентном поступању према свакој својственој предности, било би потребно класификовати спортисте у групе на основу апсолутно сваког критеријума који би им могао пружити нефер предност. Овакав систем захтевао би вишедимензионалну класификацију, у којој би сваки спорт имао категорије дефинисане неизбројивом количином критеријума, а резултат би био систем у коме би се сваки спортиста такмичио искључиво сам са собом. С обзиром да је *raison d'être* спортских такмичења поређење предности преформанси, настаје контрадикција ако сваку спортску

категорију чини један учесник. Дакле, једино смислено решење у случају жена са хиперандрогенизмом јесте да им буде дозвољено да учествују у том спорту са осталим женама. Сва друга решења подразумевају драстичне и потенцијално штетне промене по цео систем спортских такмичења (Cooper, 2019). То не значи да корените промене нису потребне, али, без конкретних и „фер” решења, приоритет треба да буде заштита права жена са хиперандрогенизмом, што је и МОК применио на последњим летњим Олимпијским играма.

Abstract

NATURALLY HIGH TESTOSTERONE LEVEL IN PROFESSIONAL FEMALE ATHLETES: CAUSES, CONSEQUENCES AND CONTROVERSIES

Nikola TERZIĆ, University of Belgrade – Faculty of Chemistry

In 2011, the World Athletics Federation introduced the controversial Hyperandrogenism Code in an attempt to address a serious problem: ensuring „fair” competition in women’s athletics, as a result of the competition between athletes with differences in sexual development, specifically, different natural levels of the typical male hormone testosterone, with powerful anabolic effects. The result was a *de facto* ban on some top female athletes from competing, and countless discussions and legal disputes over issues of ethics, morality, and discrimination in sport that continue to this day, the subject of this paper.

Keywords: testosterone, hyperandrogenism, female athletes, discrimination in sports

Захвалница: Овај рукопис је део мог семинарског рада из предмета Биохемија спорта и физичке активности (<https://www.chem.bg.ac.rs/predmeti/427B2.html>). Захваљујем се в. проф. др Милану Николићу, предметном наставнику, на сугестијама и помоћи у припреми финалног текста рада.

ЛИТЕРАТУРА

- Bouaziz, A. (2024). Gender Representation in Media: The Case of Algerian Boxer Imane Khelif. In book: *Beyond The Human Translator: AI, Literature, Linguistics and the Future of Translation*, Publisher: Pacific Books International.
- Camporesi, S., & Härmäläinen, M. (2021). The construction of categories in sport: Unfair advantages, equality of opportunity and strict attainability. *Eur J Sport Sci.* 21 (11), 1492-1499. <https://10.1080/17461391.2021.1943714>
- Cooper, J. (2019). Testosterone: „The Best Discriminating Factor”. *Philosophies* 4, 36. <https://10.3390/philosophies4030036>
- Davis, S. R., & Wahlin-Jacobsen, S. (2015). Testosterone in women - the clinical significance. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 3 (12), 980-92. [https://10.1016/S2213-8587\(15\)00284-3](https://10.1016/S2213-8587(15)00284-3)

- Hämäläinen, M. (2012). The concept of advantage in sport. *Sport Ethics Philos.* 6 (3), 308-322. <https://10.1080/17511321.2011.649360>
- Healy, M. L., Gibney, J., Pentecost, C., Wheeler, M. J., & Sonksen, P. H. (2014). Endocrine profiles in 693 elite athletes in the postcompetition setting. *Clin Endocrinol.* 81 (2), 294-305. <https://10.1111/cen.12445>
- Rojas-Zambrano, J. G., Rojas-Zambrano, A., & Rojas-Zambrano, A. F. (2025). Impact of Testosterone on Male Health: A Systematic Review. *Cureus.* 17 (4), e82917. <https://10.7759/cureus.82917>
- Sudai, M. (2017). The testosterone rule-constructing fairness in professional sport. *J. Law Biosci.* 4 (1), 181-193. <https://10.1093/jlb/lxx004>
- Wood, R. I., & Stanton, S. J. (2012). Testosterone and sport: current perspectives. *Horm Behav.* 61 (1), 147-55. <https://10.1016/j.yhbeh.2011.09.010>



Бранислав КОКИЋ

Универзитет у Београду – Фармацеутски факултет

Е-пошта: bkokic@pharmacy.bg.ac.rs

ОДАБРАНИ НАПРЕЦИ У ОРГАНСКОЈ ХЕМИЈИ У ДРУГОЈ ПОЛОВИНИ 2025. ГОДИНЕ

ИЗВОД

Одабрано је и укратко описано четири рада из савремене литературе органске хемије, који су публиковани у другој половини 2025. године. Један рад описује практичну методу за оксидацију неактивираних положаја, један описује нови приступ за синтезу полицикличних скелета, један пријављује карактеризацију и употребу органонатријумовог једињења и један описује синтезу једињења са хиралним азотом.

Кључне речи: Оксидација, С-Н активација, диени, Дилс-Алдер, органоатријумова једињења, амини, хиралности

ПРАКТИЧНА МЕТОДА ЗА C_{sp^3} -Н ОКСИДАЦИЈУ

Недиригована функционализација алифатичних С-Н веза је актуелно подручје истраживања модерне катализе. Увођење функционалне групе на неактивирани положај је интересантно из угла ретросинтетичке анализе, пошто нуди синтетске приступе изван уобичајеног фокусирања на поларизоване делове молекула као носиоце реактивности. Други аспект важности ових методологија је у медицинским истраживањима: увођење хидроксилне групе на неполаран део молекула наликује ензимским метаболичким трансформацијама молекула и повећава растворљивост молекула у води. Конкретно је за оксидацију алифатичних C_{sp^3} -Н веза развијен велики број успешних приступа, међутим, по питању практичности и ефикасности и даље постоји простор за напредак. Управо овом аспекту хемије су се посветили истраживачи у групи познатог хемичара Џона Хартвига (Kang et al., 2025). Развили су методу за хидроксилацију терцијарних C_{sp^3} -Н група уз јако малу количину катализатора и висок број каталитичких обртаја (*TON* - turnover number). Катализатор је комерцијално доступан порфирински комплекс рутенијума, а може се и једноставно синтетисати из комерцијално доступних хемикалија у једном кораку. Реакција се одвија под благим условима

на ваздуху, тако да нема потребе за уклањањем воде и кисеоника из реагенаса и реакционе смеше. Све набројане особине чине ову реакцију практичном за употребу у индустријском и академском окружењу. На Схеми 1 је приказан пример оксидације комплексног молекула развијеном методом.

Пошто је фокус рада био на применљивости, урађена је обимна студија о толеранцији реакције на функционалне групе. Важно ограничење које су демонстрирали је да реакција не функционише у присуству Луисових база зато што се координују за рутенијумов атом катализатора и тиме онемогућавају одвијање каталитичког циклуса. Реакција је успешно комбинована са секвенцом трифлуорацетиловање/дириговано С-Н силиловање/Тамао-Флеминг оксидација, чиме је добијена процедура за импресивну вициналну дихидроксилацију неактивираних алкил-групе (Схема 2).

УГАОНО НАПЕТИ ДИЕНИ

Дилс-Алдерова циклоадиција је једна од најважнијих реакција за формирање угљеник-угљеник везе. Међутим, да би се интермолекулска варијанта ове трансформације одвила под благим условима и у добром приносу потребно је да реакциони партнери буду електронски компатибилни: један π-систем мора бити електрон-сиромашан, а други електрон-богат. То значи да диен и диенофил морају имати интегрисане функционалне групе које ће резонанционо и индуктивно утицати на двоструке везе. Ово је значајно ограничење реакције јер, уколико је потребно синтетисати угљенични скелет, додатне функционалне групе компликују синтезу. Један од начина за превазилажење овог проблема је употреба угаоно напетих диенофила. Та једињења се циклоадицијом ослобађају угаоног напона, што представља вучну силу реакције и омогућава формирање везе између електронски некомпатибилних молекула. Иако је реакција угаоно напетих диенофила добро позната, употреба угаоно напетих диена за формирање угљеничних скеле-

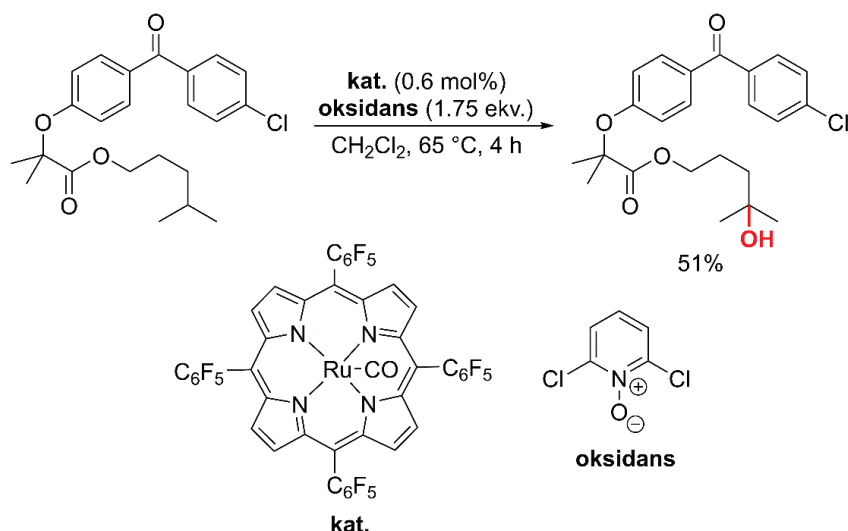


Схема 1. Недиригована хидроксилација терцијарне C_{sp^3} -H групе катализована порфиринским комплексом рутенијума

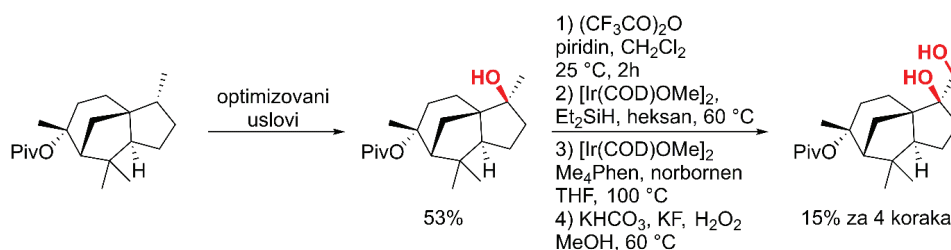


Схема 2. Комбиновање недириговане хидроксилације терцијарних положаја са сукцесивном диригованом функционализацијом у укупну вициналну дихидроксилацију

та је пријављена тек недавно по први пут (Mizoguchi et al., 2025). Овај приступ омогућава значајно усложњавање молекула (у једном кораку се могу стереоселективно формирати два прстена), а добијени производи су релевантни структурни мотиви у молекулима терпена и стероида. Угаоно напети диен је дизајниран тако да му једна двострука веза буде део напетог 1,2-циклохексадиенског система (угаоно напети ален). Пошто је овај молекул нестабилан, не може се изоловати, већ се генерише у реакцијом суду у присуству диенофила. Генерисање се врши добро познатом елиминацијом силлил-групе флуоридним јоном, уз бромид као одлазећу групу (Схема 3).

Развијена реакција је региоселективна: са позитивним крајем диенофила реагује искључиво аленски угљеник диена. Ово је рационализовано прорачунима који су показали да аленски терминал диена заиста има већи коефицијент НОМО орбитале (енергетски највише попуњене молекулске орбитале). Реакција има ограничења по питању структуре супстрата, али су аутори пронашли начин да их превазиђу дизајном молекула. Углавном је била неопходна алкил-супституција на неком делу диенског система или у његовој близини како би реакција добро функционисала.

ОРГАНОНАТРИЈУМОВА ЈЕДИЊЕЊА

Натријум је најзаступљенији алкални метал у Земљиној кори. Од раног 20. века је постојало интересовање у органској хемији да се натријум

интегрише у структуре реагенаса и изађе из оквира употребе као снажног редуценса или средства за сушење. Међутим, велика реактивност органонатријумових једињења је успоравала напредак у овој области. Мада су развијене неке корисне методе (као нпр. Вурцова купловање, Бирчова редуција), хемија литијумових органометала је била лакша за контролу од самог почетка па је она доминантно развијана у 20. веку. У последње време се појављује све више радова на тему органонатријума и показало се да се са модерним реагенсима и стратегијама реакционе контроле они могу користити у различите сврхе, при томе често показујући особине комплементарне доступним алтернативама.

Један од ових напредака је објављен 2025. године (Anderson et al., 2025). Описана је синтеза и детаљна карактеризација неопентил-натријума, који је познат у литератури, али никада није детаљно испитана његова структура. Код овог једињења је посебно то што показује добру растворљивост у органским растварачима, што је неуобичајено за органонатријумова једињења (и што је један од разлога њиховог успореног развоја). Осим тога, изненађујућа је и његова стабилност: може се изоловати у чистом стању, а у хексанском раствору се не распада на собној температури. Научници су успели да открију разлог ових повољних својстава. Наиме, неопентил-натријум у раствору и у чистом стању постоји у облику тетрамера (агрегата), који су кинетички стабилни и омогућавају да се тај молекул користи као реагенс. Аутори су вредност неопентил-натријума демонстрирали у реакцији C_{sp^2} -H

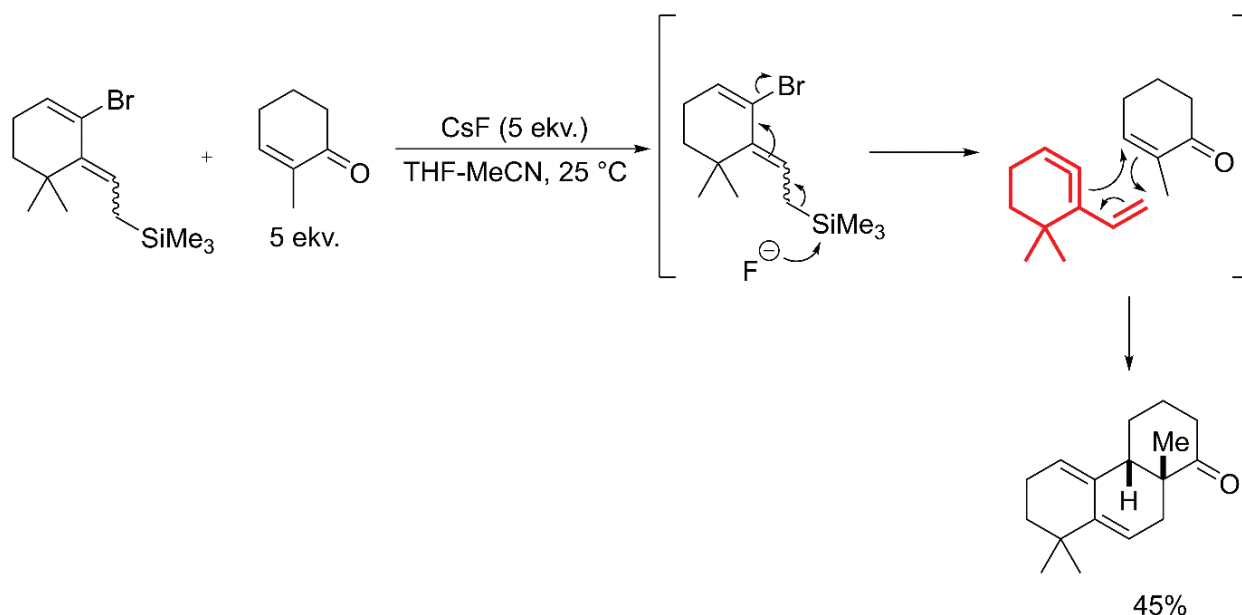


Схема 3. Дилс-Алдерова циклоадиција са угаоно напетим диенима под благим реакционим условима

металовања, у којој се показао изузетно потентан. Добијена металована једињења су пресретана угљендиоксидом и мерен је принос добијене карбоксилне киселине (Схема 4). Успешно су функционализовани алкени и арили, при чему је било неопходно додати координујући агенс (тридентатни лиганд *N, N, N', N'', N'''*-пентаметилдиетилтриамин, *PMDETA*) за који је доказано да разбија тетрамере неопентил-натријума и тиме га чини реактивнијим.

КОНФИГУРАЦИОНО СТАБИЛАН АСИМЕТРИЧНИ АЗОТ

Амини са асиметрично супституисаним азотом не показују хирална својства због брзе пирамидалне инверзије којом рацемизују. Познато је да стабилну

конфигурацију показују само кватернерне амонијум-соли (које немају слободни електронски пар на азоту) и бициклични амини који због ригидности структуре не могу да подлегну пирамидалној инверзији. Међутим, од самих почетака, остала једињења са асиметрично супституисаним азотом су у контексту хиралности сматрана неухватљивим и уместо тога су развијани начини за грађење једињења са хиралним угљеником, силицијумом, сумпором, фосфором итд. Мада је у току двадесетог века утврђено да азотови атоми са електронегативним супституентима имају вишу енергетску баријеру пирамидалне инверзије, није развијена ефикасна метода за енантиселективну синтезу конфигурационо стабилних амина са хиралним азотом, све до друге половине 2025. године.

У и сарадници (Wu et al., 2025) су применили познату методу за енантиселективно хлоровање

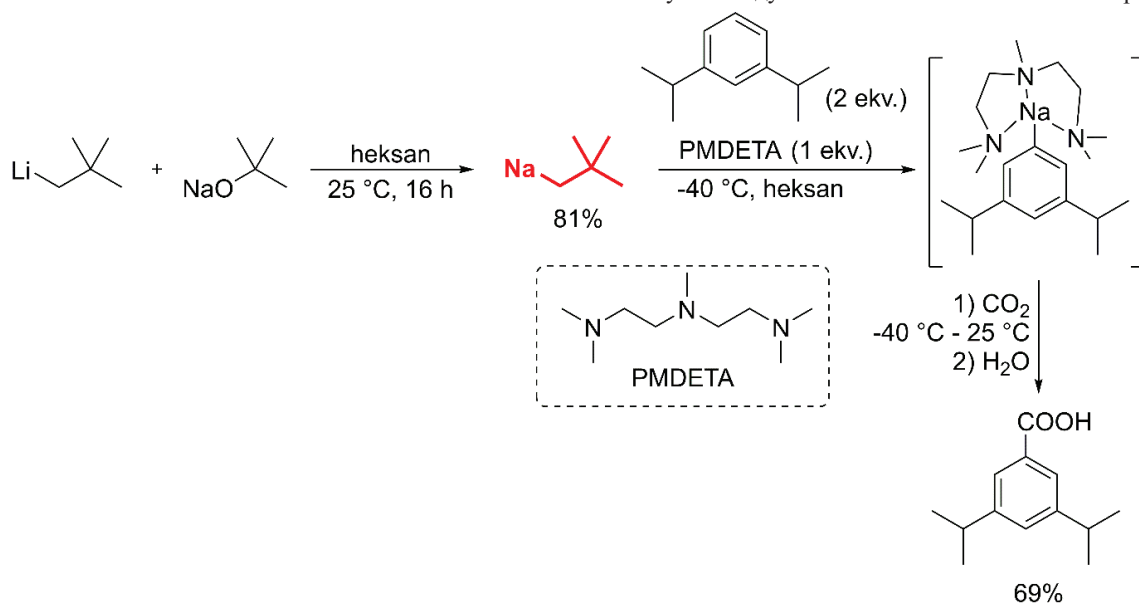


Схема 4. Синтеза неопентил-натријума и његова употреба за металовање ароматичне С-Н везе и карбоксиловање насталог арил-натријума

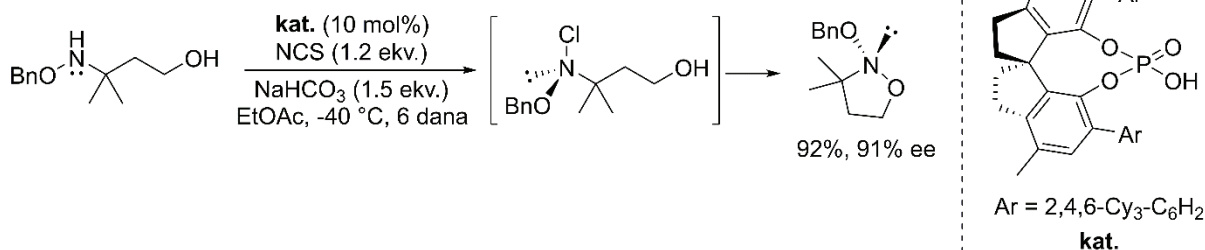


Схема 5. Енантиселективна синтеза једињења са конфигурационо стабилним азотним хиралним центром

угљеника (катализовану хиралном Бронштедовом киселином) на хидроксиламин, при чему је добијен *N*-хлорхидроксиламин, чија хиралност није довољно стабилна да би се изоловао, али је довољно стабилан да се на ниској температури може генерисати у раствору. Тактички постављена хидроксилна група у том молекулу затим супституише хлор у брзој интрамолекулској S_N2 на азоту, чиме се добија 1,2-оксазолидински прстен са конфигурационо стабилним азотом за који су везана два кисеонична супституента (пример реакције је представљен на Схеми 5). Ова једињења се могу изоловати и карактерисати, при чему не долази до рацемизације. Приноси и енантиселективности реакције су били одлични. Једина мана ове пионерске методе је што су реакциона времена изузетно дуга (6-8 дана). Геминална диалкил супституција на угљенику директно везаном за азот је неопходан део молекула за развијену методологију.

Познато је да и *N*-хлоразиридини имају одређену конфигурациону стабилност. Због тога је метода примењена и за синтезу ових једињења из азиридина енантиселективним хлоровањем (пример је приказан на Схеми 6). Као и у синтези оксазолидина, било је неопходно да угљеников атом из прстена буде дисупституисан.

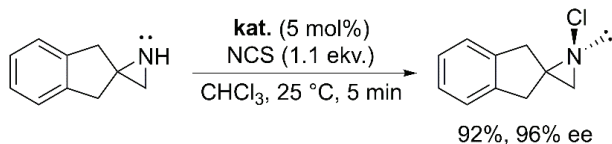


Схема 6. Енантиселективно *N*-хлоровање азиридина у којем се добија конфигурационо стабилно једињење са азотним хиралним центром

Abstract

SELECTED ADVANCEMENTS IN ORGANIC CHEMISTRY PUBLISHED IN THE SECOND HALF OF 2025

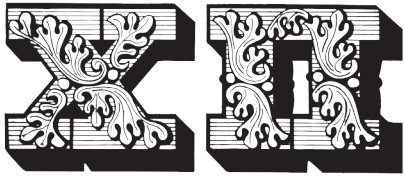
Branislav KOKIĆ, University of Belgrade – Faculty of Pharmacy

Four papers from the current organic chemistry literature, published in the second half of 2025, are selected and briefly described. One describes a practical method for the oxidation of non-functionalized alkyl-groups, one describes a new method for the synthesis of polycyclic molecules, one reports the characterization and application of an organosodium compound and one presents a method for the synthesis of compounds that are chiral at nitrogen.

Keywords: Oxidation, C-H activation, dienes, Diels-Alder, organosodium compounds, amines, chirality

ЛИТЕРАТУРА

- Anderson, D. E., Malaspina, L. A., Grabowsky, S., & Hevia, E. (2025). Synthesis and Structure of Neopentyl Sodium: A Hydrocarbon-Soluble Reagent for Controlled Sodiation of Non-Activated Substrates. *Angewandte Chemie International Edition*, 64 (37), e202511492. <https://doi.org/10.1002/anie.202511492>
- Kang, Y. C., Volochnyuk, D. M., Ryabukhin, S. V., & Hartwig, J. F. (2025). Late-Stage Oxidation of $C(sp^3)$ -H Bonds with High Efficiency and Alkyl Group Dihydroxylation of Complex Molecules. *Angewandte Chemie International Edition*, 64 (46), e202513418. <https://doi.org/10.1002/anie.202513418>
- Mizoguchi, H., Obata, T., Hirai, T., Komatsu, M., C & Sakakura, A. (2025). Development of a Vinylated Cyclic Allene: A Fleeting Strained Diene for the Diels-Alder Reaction. *Angewandte Chemie International Edition*, 64 (33), e202510319. <https://doi.org/10.1002/anie.202510319>
- Wu, S., Chen, P., Duan, M., Jiang, P.-Y., Zhou, Q., Xiang, S.-H., Houk, K. N., T & Tan, B. (2025). Controlling pyramidal nitrogen chirality by asymmetric organocatalysis. *Nature*, 647, 897-905. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09607-6>



Марија МЕЧАНИН

Основна школа „Коста Абрашевић” у Реснику

Е-пошта: hemijamarija@gmail.com

ПРИМЕНА ДИГИТАЛНОГ АЛАТА КАНООТ! У НАСТАВИ ХЕМИЈЕ У ОСНОВНОЈ ШКОЛИ

ИЗВОД

Настава хемије у основној школи има значајну улогу у развоју научне писмености, разумевању својстава и промена супстанци у природи и формирању ставова ученика као основе за одговоран однос према здрављу и животној средини. Ипак, због апстрактности појмова и специфичних захтева које поставља, хемија је ученицима често изазовна и недовољно мотивишућа, нарочито у периоду адолесценције. Савремени педагошки приступи указују на потребу за активним учешћем ученика у настави, повезивањем наставних садржаја са свакодневним животом и применом формативног оцењивања. У том контексту, дигитални алати добијају све значајнију улогу у унапређивању наставног процеса.

У раду су приказане могућности примене дигиталне платформе Kahoot! у настави хемије у основној школи и анализирани педагошки ефекти у формативном оцењивању и праћењу постигнућа ученика, као и у вези с мотивацијом ученика и индивидуализацијом наставе. Чланак разматра методичке аспекте примене Kahoot! квизова у различитим фазама часа, као и могућности аналитичке обраде података које платформа пружа наставнику. Посебна пажња посвећена је улози наставника у педагошки сврсисходној и промишљеној примени дигиталних алата, уз уважавање развојних и образовних потреба ученика.

Кључне речи: настава хемије, дигитални алати, Kahoot, формативно оцењивање, мотивација ученика

УВОД

Хемија као предмет у основној школи има значајну улогу у развоју научне писмености. Поред тога што доприноси научној писмености заједно са другим предметима природних наука, доприноси разумевању својстава и промена супстанци, било да се оне дешавају у шуми, лабораторији или у кухињи. Осим што научно описмењава, хемија утиче и на формирање вредносних ставова ученика који се односе на сопствено здравље и животну околину. Према томе, улога хемије као наставног предмета је значајна и свеобухватна.

Кроз наставу хемије ученици стичу основна знања о грађи природе – супстанцама, као и о променама кроз

које оне пролазе, али и знања која се могу применити у различитим областима људских делатности. Но, и поред једног широког спектра знања и вештина које овај предмет пружа, хемија често остаје у другом плану јер је за ученике неретко захтевна, изазовна, несхватљива и незанимљива.

Хемија као наставни предмет се изучава у седмом и осмом разреду основне школе, а тај период је специфичан у развоју младих. Период адолесценције сам по себи носи бројне изазове и својеврсну узрасну проблематику, која се огледа у променама како на когнитивном тако и на емотивном, социјалном и физичком плану. У периоду једне такве комплексне динамике унутар личности ученика, хемија се у седмом разреду појављује као нов предмет, са својом специфичном логиком и захтевима који се постављају пред ученика адолесцента. Комплексност тих захтева може изазвати отпор према учењу хемије, то јест смањену мотивисаност за рад и постигнућа.

Важно је да се истакне и да у овом периоду ученици све више желе да буду део наставног процеса, они нису само пасивни слушаоци и примаоци знања (ако су икада и били!) већ су сарадници у настави, сваки са својим ставовима, уверењима и навикама. Потребно је да им смисао онога што уче буде јасан и да су наставни садржаји повезани са свакодневним животом.

Традиционални приступ настави хемије, заснован на фронталном облику рада и репродукцији знања одавно је превазиђен јер не оставља простор за активно учешће ученика. Иако фронтални облик рада може бити део целине једног наставног процеса, свакако није препоручљиво да се целокупни рад наставника темељи само на фронталном излагању. Такође, традиционалне провере знања које се заснивају искључиво на усменим и писменим проверама по завршетку наставне теме или модула сматрају се неадекватним. Оне доводе до појаве тзв. кампањског учења, онемогућавају благовремен увид у тешкоће у разумевању градива и не подстичу ученике да преузму одговорност за сопствено учење.

Мотивација за учење представља један од кључних фактора успешног наставног процеса и трајности усвојених знања. Она у великој мери зависи од начина како је градиво представљено, од могућности да се активно учествује у настави и од начина на који се вреднује рад

ученика и њихово напредовање. Савремени педагошки приступи подстичу радозналост, самостално размишљање и унутрашњу мотивацију ученика.

У том контексту примена дигиталних алата у настави добија све више на значају. Дигитални алати омогућавају да се наставни садржај представи на занимљив, интерактиван начин и омогућавају веће ангажовање ученика на часу. Осим тога, када се користе у процесу оцењивања, пружају брзу и јасну повратну информацију како за ученика, тако и за наставника. И на крају крајева, није непознаница да ученици воле дигиталне алате јер су им блиски због свакодневног коришћења. Обзиром на то да су дигитални алати постали део наше свакодневице, потребно је интегрисати их и у наставни процес, али пажљиво и вођено. Отуда је посебна и важна одговорност наставника у читавој овој сложеној ситуацији, када се више него икада преплићу, па и сукобљавају традиционална и модерна настава.

УЛОГА ДИГИТАЛНИХ АЛАТА У САВРЕМЕНОЈ НАСТАВИ ХЕМИЈЕ

Савремена настава хемије се све више удаљава од модела у коме наставник као извор знања заузима централно место и све више се окреће ученику, постављајући га у центар наставног процеса. Таква настава подстиче активно учење, самостално размишљање и функционалну примену знања. У настави која је оријентисана ка ученику, дигитални алати имају важну улогу јер пружају веће могућности за разноврстан рад и већу укљученост ученика.

Обзиром на то да хемија има бројне апстрактне концепте, дигитални алати могу помоћи у визуализацији и разумевању. Модели, анимације и интерактивне активности могу помоћи ученицима да лакше повежу теоријске и практичне садржаје. Поред тога, дигитални алати омогућавају флексибилност у организацији наставе и прилагођавање индивидуалним потребама ученика.

Посебан значај дигитални алати могу имати у континуираном праћењу напредовања ученика омогућавањем честих и кратких провера у различитим

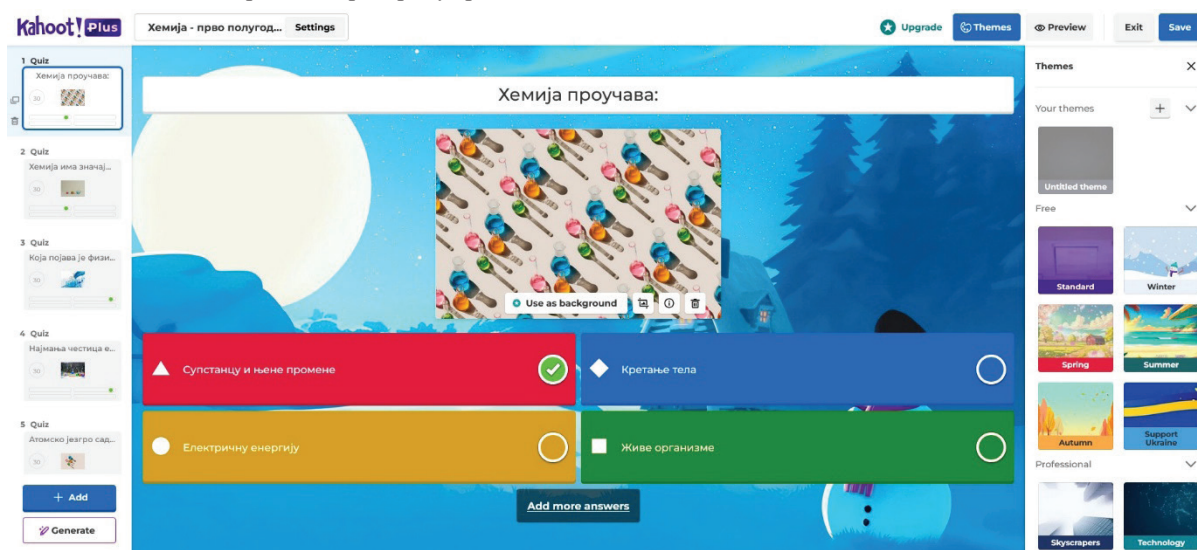
облицима и тиме увида у степен разумевања градива током наставног процеса. На тај начин наставнику је омогућено да благовремено реагује и прилагоди наставу потребама ученика.

Међутим, примена дигиталних алата у настави хемије захтева јасно дефинисану педагошку сврху. Уколико се дигитални алати користе као средство за забаву или попуњавање времена, њихов образовни потенцијал остаје неискоришћен. Због тога је улога наставника битна у одабиру и методичком осмишљавању дигиталних активности које ће на најбољи начин послужити наставном процесу.

Један од популарних дигиталних алата који се користи широм света у настави јесте Kahoot!. Овај алат омогућава креирање интерактивних квизова који се могу користити за проверу и утврђивање знања у различитим фазама наставног процеса. Циљ овог чланка јесте да прикаже начин примене Kahoot! квизова у настави хемије у основној школи и да се анализирају његови ефекти у контексту формативног оцењивања, индивидуализације наставе, мотивације ученика и квалитета наставног процеса.

АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЕ КАНООТ! И МОГУЋНОСТИ АНАЛИТИЧКЕ ОБРАДЕ ПОДАТАКА

Платформа Kahoot! функционише као веб-апликација заснована на cloud инфраструктури и омогућава наставнику да, након креирања корисничког налога, приступи ауторском окружењу за израду интерактивних квизова, упитника и тестова. Креирање садржаја подразумева дефинисање питања различитих типова (вишеструки избор, Слика 1, алтернативни избор, Слика 2, кратак одговор и др.), подешавање времена за одговор и бодовања, након чега се квиз креће у реалном времену или се дели као самостална активност. Ученици се у игру укључују путем јединственог PIN кода, без потребе за креирањем налога, користећи било који уређај повезан на интернет. Током извођења активности систем аутоматски прикупља



Слика 1. Приказ креирања квиза у алату Kahoot! и задатак вишеструког избора

податке о тачности одговора, времену реаговања и учешћу ученика, који се по завршетку приказују у виду прегледних аналитичких извештаја. Ови извештаји омогућавају наставнику увид у индивидуална и групна постигнућа, идентификацију честих грешака и области које захтевају додатно појашњење, што Kahoot! чини ефикасним алатом за праћење и анализу процеса учења.

Поред индивидуалног учешћа, платформа Kahoot! омогућава и тимски начин играња, при чему ученици могу бити организовани у мање групе које заједнички доносе одлуке и одговарају на питања. Оваква организација рада подстиче сарадњу, комуникацију и заједничко решавање проблема, што је посебно значајно у развоју социјалних и међупредметних компетенција. Додатно, платформа нуди и тзв. „грађење острва”, у оквиру кога се тачни одговори и успешно решени задаци награђују виртуелним елементима за развој заједничког простора (Слика 3). На тај начин се процес учења повезује са игровним елементима, где напредовање у знању има видљиву и мотивишућу последицу, без утицаја на бројчано оцењивање. Ова функционалност омогућава

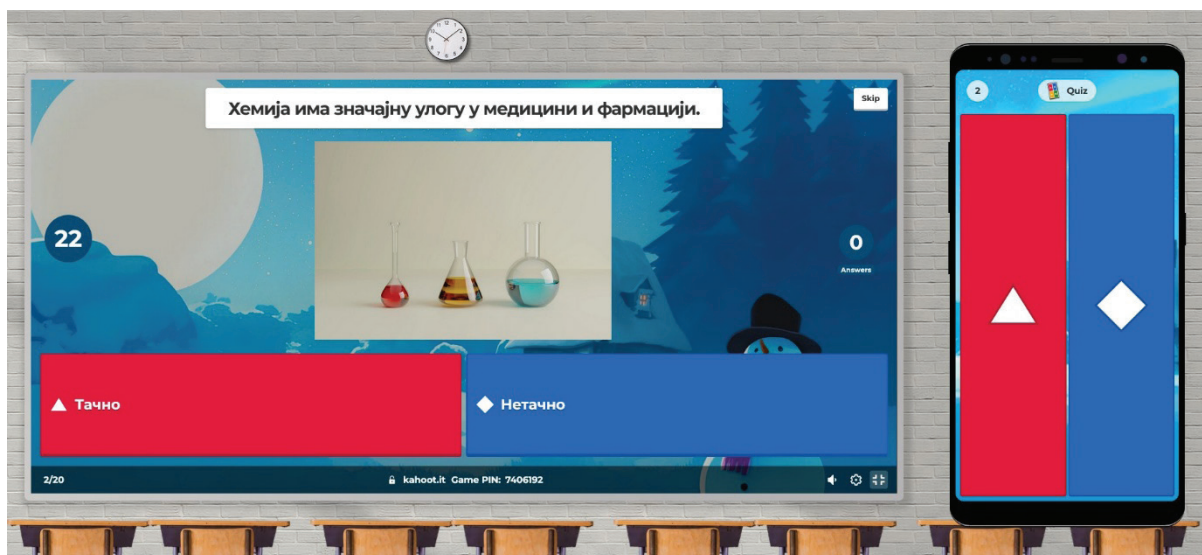
наставнику да истовремено прати ангажовање група, динамику сарадње и напредак у усвајању наставних садржаја.

МЕТОДИЧКИ АСПЕКТИ ПРИМЕНЕ КАНООТ! У ОСНОВНОЈ ШКОЛИ

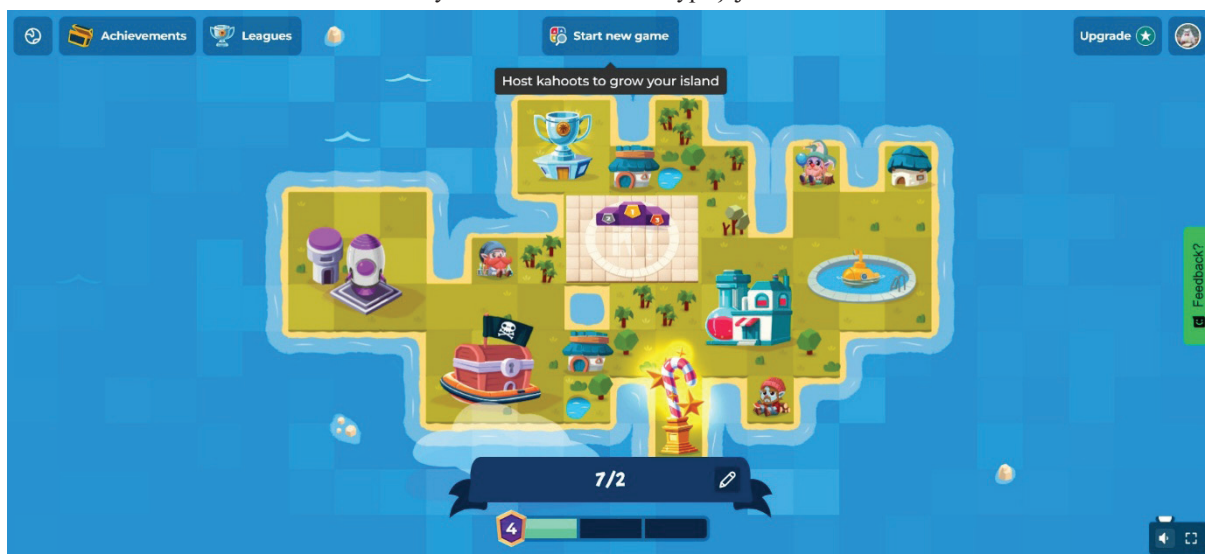
Примена апликације Kahoot! у настави подразумева јасно дефинисање циљева и уклапање у структуру часа. Kahoot! се може користити у уводном, централном и завршном делу часа, зависно од постављених циљева.

У уводном делу часа Kahoot! квиз се може користити да се утврди предзнање ученика, обнови градиво или као мотивациона активност. Кратак квиз са неколико питања омогућава наставнику да на брз начин провери тренутно стање. На тај начин ученици се одмах укључују у наставни процес и уводе у тему часа.

У централном делу часа Kahoot! може да се користи за проверу разумевања појмова. Питања се формулишу тако да се њима проверава разумевање, а не само репродукција садржаја. Такав приступ омогућава



Слика 2. Приказ извођења Kahoot! квиза у учионици, уз истовремени приказ питања на наставничком екрану и ученичким мобилним уређајима



Слика 3. Приказ виртуелног острва које ученици постепено граде и развијају

наставнику да благовремено уочи тешкоће у разумевању градива и одмах реагује кроз додатну подршку и објашњења.

У завршном делу часа Kahoot! се користи за систематизацију и сумирање садржаја часа. Квизови помажу ученицима да повежу појмове и стекну једну целовиту слику о градиву са часа.

Посебно је значајно што се Kahoot! квизови могу користити у формативном оцењивању, диференцијацији градива, као и иницијалном тестирању о чему ће бити више речи у наставку.

КАНООТ! КАО СРЕДСТВО ФОРМАТИВНОГ ОЦЕЊИВАЊА

Формативно оцењивање још увек је у недовољној мери заступљено у нашој настави. Наставници често не укључују у довољној мери формативно оцењивање због недостатка времена и ресурса. Но, оно је веома важно јер омогућава да брзо испитамо стање у групи ученика и пружимо повратну инфорамцију како би ученици имали увид у своја постигнућа, док наставнику омогућава да прилагоди наставни процес. Формативно оцењивање нема само функцију евалуације знања ученика, већ има и развојну и мотивишућу функцију.

Kahoot! као дигитални алат омогућава управо такву проверу знања. Квизови се могу реализовати у различитим формама часа, а резултати су доступни одмах што омогућава брзу анализу постигнућа. Ученици добијају јасну повратну информацију о тачности својих одговора, док наставник стиче увид у то који су појмови добро савладани а где постоје нејасноће.

За разлику од класичних тестова Kahoot! квизови имају изражену динамику и игровни карактер. Такмичарски елемент као и временско ограничење развијају концентрацију и фокус код ученика, стимулишући активно учествовање. Истовремено долази до смањивања страха од грешке која се у овом

случају не тумачи као неуспех, већ као део игре и прилика за учење. Стварање такве атмосфере која је мотивишућа за ученике управо је један од принципа формативног оцењивања, те је у том смислу Kahoot! веома применљив.

Важно је нагласити да Kahoot! не замењује традиционалне облике провере знања, већ их допуњује. Његова вредност огледа се у могућности да у оквиру различитих делова часа имамо кратке провере разумевања, које доприносе бољој организацији наставе у постепеном усвајању сложених хемијских појмова.

Примена дигиталног алата Kahoot! није ограничена само на формативно оцењивање. Ова платформа може да се користи за различите провере знања као што је нпр. иницијално тестирање на почетку школске године. Иницијално тестирање омогућава формирање базе података о почетном знању ученика, тј. шта је то са чиме крећемо у наредну школску годину. Путем иницијалног тестирања наставник стиче увид у постојеће знање ученика, што му омогућава боље планирање и боље прилагођавање наставе ученицима. Коришћење Kahoot! квизова у иницијалном тестирању штеди време и ресурсе наставника. Ресурсе и време наставника не треба ни једног момента занемарити јер су управо они често ограничени и недовољни спрам захтева који се постављају.

Резултати добијени из Kahoot! квизова могу послужити као основ за вођење педагошке документације, у смислу да се индивидуална постигнућа ученика прочитана из табела аналитике квиза могу превести у одговарајуће „смајли“ активности у оквиру е-дневника (Слика 4). Овакве белешке су посебно значајне у раду са ученицима који раде по индивидуалном образовном плану јер пружају конкретне и документоване податке о самом току учења и њиховом напредовању.

Kahoot! квизови могу и да се користе за разоноду и опуштање на часу. Неки модалитети квизова подржавају тимску игру чиме се поспешују сараднички односи између ученика и негује се здрав такмичарски дух.

Summary Participants (24) Questions (10) Feedback			
All (24) Need help (3)		Search	
Nickname	Attempts	Problems solved	Correct answers
Marija	45	44	98%
StefanT	32	30	94%
AnaM	31	29	94%
FilipS	24	22	92%
HelenaM	27	24	89%
AngelinaT	26	23	88%
AndrejP	25	21	84%
ReljaV	22	18	82%
Lena V	27	22	81%
DušanM	24	18	75%

[Show more](#)

Слика 4. Приказ аналитичког извештаја у алату Kahoot! са подацима о учешћу ученика, броју покушаја и проценту тачних одговора, који омогућава наставнику праћење успешности и напредовања ученика

Примена дигиталног алата Kahoot! у настави доприноси развоју и дигиталних компетенција ученика које представљају једну од кључних компетенција у 21. веку. Иако ученици основног образовања показују донекле добру информатичку писменост, често је она сведена само на коришћење друштвених мрежа или играње различитих игрица. Кроз пажљиво осмишљене Kahoot! активности ученици стичу и дигиталне вештине, развијају вештину читања у дигиталном окружењу, прецизно тумачење информација и одговорно понашање у онлајн простору. На тај начин Kahoot! платформа постаје средство за развој дигиталне писмености.

ПРИМЕР И СМЕРНИЦЕ ИЗ НАСТАВНЕ ПРАКСЕ

У наставној пракси, Kahoot! се често користи као ефикасан дијагностички и мотивациони алат, а добар пример је квиз који се ученицима задаје на првом часу после распуста, са циљем понављања и систематизације градива из првог полугодишта. Такав квиз може бити јасно структуриран према нивоу сложености. На пример, осам питања основног нивоа за проверавање познавања основних појмова и чињеница, осам питања средњег нивоа која испитују повезивање садржаја и примену знања у једноставним ситуацијама, и четири питања на напредном нивоу која подстичу анализу, закључивање и дубље разумевање хемијских концепата. На тај начин наставник брзо добија увид у реално стање степена усвојености градива у одељењу, ученици се без притиска „загревају“ за рад након распуста, а атмосфера на часу је динамична, такмичарска и, што је најважније, педагошки сврсисходна.

Пример једног таквог квиза доступан је на следећем линку: <https://create.kahoot.it/share/7/6a79719b-ef3c-41c8-a564-778d788b224d>

На основу оваквог примера из наставне праксе могу се издвојити и конкретне практичне смернице за колеге:

- **Користите кратке и јасне формулације задатака**

Приликом креирања питања на платформи Kahoot! препоручује се употреба једноставних и једнозначних формулација, без сложених и дугачких реченица. Таква структура задатака омогућава ученицима да се фокусирају на суштину питања. Понуђени одговори такође треба да буду јасни и сажети.

- **Илуструјте питања сликама или шемама кад год је то могуће**

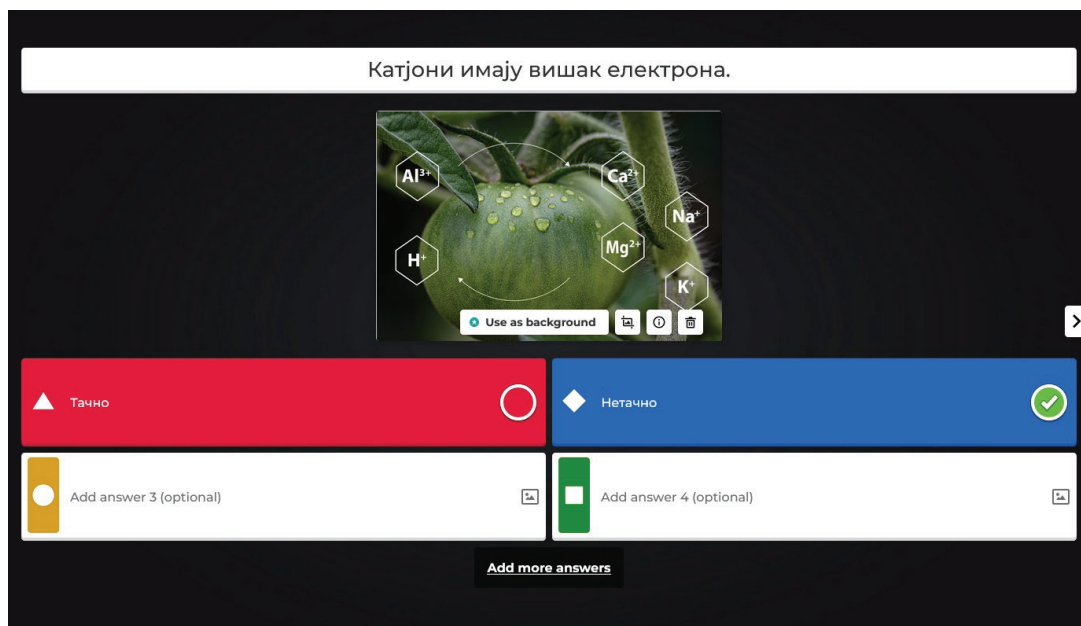
Додавање слика (нпр. модела атома, дела Периодног система, лабораторијског прибора) значајно доприноси разумевању и визуелном памћењу наставних садржаја. У оквиру самог алата Kahoot! приликом припреме питања за квиз постоји могућност додавања фотографија, илустрација и графичких приказа, било са рачунара из личне медијске колекције, било из бесплатних библиотека медијског садржаја које су интегрисане у платформу (Слика 6).

- **Комбинујте индивидуални и тимски режим рада**

Препоручује се да се део квиза реализује индивидуално, а део у тимском режиму. Тимски рад посебно је погодан за питања средњег и напредног нивоа, јер ученици кроз заједничко разматрање одговора развијају комуникацију и критичко мишљење и подстичу се сараднички односи.

- **Користите аналитичке извештаје као педагошки алат**

Након завршетка квиза наставник може да анализира приказане резултате (процент тачних одговора, најчешће грешке) и на основу тога планира додатна објашњења или допунске задатке (Слика 7). Ови подаци представљају поуздан основ за формативно оцењивање.



Слика 6. Приказ могућности додавања фотографија и илустрација у оквиру питања у алату Kahoot! као подршке визуализацији и бољем разумевању наставних садржаја

All (10)		Search		
Question	Type	Attempts	Correct answers	
1 Ковалентна веза настаје када атоми...	Quiz	62	66%	
2 Ко најчешће гради ковалентну везу?	Quiz	53	83%	
3 Шта настаје ковалентним повезивањем атома?	Quiz	51	84%	
4 Молекул воде (H ₂ O) настаје тако што се атоми повежу...	Quiz	48	77%	
5 Када два атома деле један пар електрона, говоримо о...	Quiz	57	77%	
6 Молекул кисеоника (O ₂) има...	Quiz	58	67%	
7 Ковалентна веза обезбеђује атомима...	Quiz	53	81%	
8 Стабилан октет значи да атом има...	Quiz	61	69%	
9 Који елемент тежи постизању дублета?	Quiz	56	73%	
10 Шта атоми постижу стварањем ковалентне везе?	Quiz	64	72%	

Слика 7. Аналитички преглед питања у алату Kahoot! са приказом процента тачних одговора по питању

- **Употребите различите модове игре за постижање бољег ефекта**

У плаћеној верзији алата Kahoot! посебно је занимљива примена квизова интегрисаних у мини-игре, попут мода у коме су сви ученици „смештени” у заједничку подморницу коју покрећу тачни одговори, док се у позадини појављује велика ајкула од које је потребно побећи. Брзина кретања подморнице директно зависи од успешности ученика, а за прелазак на наредни ниво неопходно је да ученици тимски и синхронизовано притисну одговарајуће симболе на својим мобилним уређајима, при чему постоји јасно временско ограничење. Оваква организација рада значајно доприноси динамици часа, развија сарадњу међу ученицима, јача фокус и подстиче вештине управљања временом, уз висок ниво мотивације и ангажованости. Занимљив пример приступа представља и мод „лов на благо”, у коме се мини-игра са прикупљањем дијаманата који излећу из ковчежића и доносе бодове активира тек након три узастопна тачна одговора ученика. Таква организација активности значајно умањује могућност насумичног одговарања, јер се награда условљава континуираним показивањем знања. Истовремено, овај мод доприноси развоју истрајности, концентрације и усмерене пажње ученика током целог трајања квиза. Комбиновањем различитих модова игре у оквиру алата Kahoot! наставник постиже већи педагошки ефекат, јер се истовремено подстичу мотивација, сарадња и квалитетнији ниво ангажовања ученика у процесу учења.

ПЕДАГОШКИ ЕФЕКТИ И ОГРАНИЧЕЊА

Примена Kahoot! платформе у настави има позитивне ефекте на мотивацију и ангажованост ученика на часу. Интерактивни карактер квиза, позитивна такмичарска атмосфера, тимска игра доприносе стварању подстицајне атмосфере и активнијем учешћу ученика у настави.

Поред тога Kahoot! доприноси и инклузивности наставе јер ученици различитих предзнања и вештина могу да учествују равноправно у наставном процесу. Могућност анонимног учешћа смањује страх од грешке

и постиже ученике да се укључе у рад на часу без бојазни од негативне процене.

И поред низа позитивних ефеката, Kahoot! има и одређена ограничења, а то се пре свега односи на техничку опремљеност. За Kahoot! платформу неопходна је стабилна интернет конекција и дигитални уређаји, затим потребно је поделити ПИН код игре за логовање, путем телевизора или пројектора у учионици. Овде треба устаћи и да је у неким школама потпуно забрањена употреба мобилних телефона чиме је онемогућено коришћење ове платформе уколико не постоје други дигитални уређаји.

ЗАКЉУЧАК

Примена дигиталне платформе Kahoot! представља значајну подршку савременој настави у основној школи посебно у контексту активног учења, формативног оцењивања и индивидуализације наставе. Кроз методички осмишљене квизове наставник може да прати напредовање ученика у реалном времену и да благовремено реагује уколико очи тешкоће и самим тим прилагоди даљи ток наставе потребама ученика.

Посебна вредност овог алата огледа се у могућности укључивања ученика свих нивоа постигнућа чиме се обезбеђује да већина ученика на часу буде активна. Kahoot! омогућава истовремени рад свих ученика чиме се подржава инклузивна и подстицајна наставна средина,

Поред провере знања из хемије, Kahoot! омогућава да се унапреде и дигиталне вештине ученика, али и вештине као што су концентрација, брзо доношење одлука и читање са разумевањем. Изостанак бројчаног оцењивања, као и анонимност смањује трему и страх од грешке.

Иако Kahoot! не може да замени традиционалне облике наставе, платформа представља допуну која унапређује наставни процес. Као флексибилан и приступачан дигитални алат, Kahoot! представља пример како се дигиталне технологије могу интегрисати у наставни процес ако се пажљиво методички осмисле, на начин који уважава индивидуалне разлике међу ученицима, и ако доприносе развоју позитивног односа према учењу и наставном предмету.

Abstract

THE ROLE OF THE KAHOOT! DIGITAL PLATFORM IN CONTEMPORARY CHEMISTRY TEACHING IN PRIMARY SCHOOL

Marija MEČANIN, Primary School „Kosta Abrašević”, Resnik

Chemistry teaching in primary education plays an important role in the development of scientific literacy, the understanding of the properties and changes of substances in nature, and the formation of students' attitudes as a foundation for responsible behaviour toward health and the environment. However, due to the abstract nature of chemical concepts and the specific cognitive demands the subject places on learners, chemistry is often perceived by students as challenging and insufficiently motivating, particularly during adolescence. Contemporary pedagogical approaches emphasize the need

for students' active participation in the learning process, the connection of curricular content with everyday life, and the implementation of formative assessment practices. In this context, digital tools are gaining an increasingly significant role in enhancing the teaching and learning process.

This paper presents the possibilities of applying the digital platform Kahoot! in primary school chemistry teaching and analyses its pedagogical effects in formative assessment and monitoring student achievement, as well as its impact on student motivation and the individualization of instruction. The article discusses the methodological aspects of implementing Kahoot! quizzes in different phases of the lesson and examines the possibilities for analytical data processing that the platform provides to teachers. Particular attention is devoted to the role of the teacher in the pedagogically purposeful and thoughtful use of digital tools, while taking into account the developmental and educational needs of students.

Keywords: chemistry teaching, digital tools, Kahoot!, formative assessment, student motivation



ИЗВЕШТАЈ О ОДРЖАНИМ АПРИЛСКИМ ДАНИМА О НАСТАВИ ХЕМИЈЕ - 34. СТРУЧНО УСАВРШАВАЊЕ НАСТАВНИКА ХЕМИЈЕ И 6. КОНФЕРЕНЦИЈА МЕТОДИКЕ НАСТАВЕ ХЕМИЈЕ

Априлски дани о настави хемије (АД2026), у организацији Српског хемијског друштва и Универзитета у Београду - Хемијског факултета, одржани су 8. и 9. априла 2026. године на Универзитету у Београду – Хемијском факултету. Програм скупа (у прилогу Извештаја) био је веома садржајан и обухватио је девет предавања, три радионице, седам саопштења и традиционалне разговоре (трибину). Осим два саопштења, остале активности су реализоване.

Циљ овогодишњих Априлских дана био је унапређивање компетенција наставника хемије за развијање функционалне хемијске писмености ученика кроз међупредметно повезивање, иновативне приступе и сарадњу, као и унапређивање компетенција за праћење и вредновање ученичких постигнућа, а у складу са савременим трендовима образовања у области хемије. Скуп су отворили декан Хемијског факултета, проф. др Горан Роглић, председница Српског хемијског друштва, проф. др Мелина Калагасидис Крушић и потпредседник Српског хемијског друштва и координатор Радне групе Српског хемијског друштва за форму наставе хемије, проф. др Сузана Јовановић Шанта.

Предавачи су били колеге:

- са факултета у Србији и држава у региону:
 - Универзитет у Београду – Хемијски факултет;
 - Универзитет у Београду – Физички факултет;
 - Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет;
 - Универзитет Св. Ћирила и Методија у Скопљу, Природно-математички факултет);
- из института у Србији:
 - Институт за општу и физичку хемију;
 - Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, Центар за хемију;
- из Завода за биоциде и медицинску екологију у Београду.

Теме предавања су биле следеће:

1. **Проф. др Братислав Обрадовић**, Универзитет у Београду – Физички факултет: *Колико њознајемо гут?*
2. **Проф. др Марина Стојановска**, Универзитет Св. Ћирила и Методија у Скопљу, Природно-математички

факултет: *Balloonization - Teaching science effectively with models and analogies*

3. **Анте Блајић**, мастер биологије и хемије, Природно-математички факултет Свеучилишта у Сплиту и **в. проф. др Милан Николић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Дијететски сулемењии за сјоритисџиџе и младе: који, када и колико?*
4. **В. проф. др Саша Хорват**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Сјремна лабораторија - сјреман насјавник: смернице за безбедну и функциоанлну насјаву хемије*
5. **Проф. др Јасна Адамов**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Поврајина информација у евалуацији рада ученика у насјави хемије*
6. **Др Марија Вукчевић**, Завод за биоциде и медицинску екологију у Београду: *Вирус SARS-CoV-2 COVID-19 вакцине: очекивања, сјварности и научене лекције*
7. **В. проф. др Тамара Рончевић и доц. др Маја Босанац**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Мисконцејџије у конјексџиу савременој јрисџијуа образовању - Најчешићи мџигови о јоучавању и учењу*
8. **Проф. др Драгица Тривић, доц. др Весна Милановић Маштраповић и Исидора Благојевић**, мастер професор хемије, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *eTwinning у образовању будућих насјавника хемије*
9. **Доц. др Биљана Томашевић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Курикуларни садржаји орианске хемије у различитим образовним системима*

Саопшења на скупу су се односила на следеће теме:

1. **Антонина Марковић**, Средња школа Крупањ и **Мирјана Томић**, Земунска гимназија, Београд: *Експериментална и дигитална визуализација као алати за јревазилажење концејџиуалних јрејрека у насјави хемије*
2. **Алина Лукманова**, Основна српско-руско-српско-руске школе
3. **Александра Наумоска, мастер хемије, др Пеце Шеровски, проф. др Марина Стојановска**, Универзитет Св. Ђирила и Методија у Скопљу, Природно-математички факултет: *Ученици као исјираживачи: Практични јрисџиуј одрживој хемији и еколошкој свесџији*
4. **Небојша Радовић, дипломирани хемичар**, Универзитет у Београду – Хемијски факултет, **Жељка Николић, научни сарадник**, Институт за општу и физичку хемију, **доц. др Весна Милановић Маштраповић, проф. др Ксенија Стојановић, проф. др Драгица Тривић**, Универзитет у Београду – Хемијски факултет: *Лудвиј Болцман – физичар који је јроменио разумевање хемије*
5. **Проф. Катерина Русевска, проф. др Марина Стојановска**, Универзитет Св. Ђирила и Методија у Скопљу, Природно-математички факултет: *Ученици као исјираживачи: Практични јрисџиуј одрживој хемији и еколошкој свесџији*

6. **Јелена Муџић**, ОШ „Младост”, Београд: *Када хемија из уџбеника крене у свей: Инјердисџиуларности у основној школи*
7. **Ивана Димитријевић Петровић са ученицима природно-математичког смера**, Гимназија Младеновац: *Занимљива хемија на делу: од учионице до језера*

Одржане су следеће радионице:

1. **Проф. др Сузана Јовановић Шанта**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Ојтеди у насјави биохемије – информације о насјаву намириница добијене експериментално*
2. **Проф. др Јасна Адамов**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Насјавници хемије и савремена образовна јтехнолојџија*
3. **Др Александар Ђорђевић, научни сарадник**, Институт за општу и физичку хемију и **др Стефан Ивановић, научни сарадник**, Универзитет у Београду -Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, Центар за хемију: *Од ошјада до ресурса: хемија живишне средине у учионици*

Разговоре на тему *Новине у јтакмичењима из хемије за ученике основних и средњих школа и Акџиуелна јишјања о образовању у обласџи хемије* водили су **доц. др Весна Милановић Маштраповић, доц. др Милош Пешић, проф. др Душан Сладић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет и **проф. др Сузана Јовановић Шанта**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет.

На скупу је укупно било 73 учесника, а од тог броја 55 наставника хемије из основних и средњих школа, и 18 учесника из наведених институција. Према оцени учесника избор и приказ тема одговарао је њиховим интересовањима и потребама у наставној пракси. Наставници основних и средњих школа су оценили скуп просечном оценом 4,84.

Програмски одбор скупа чинили су: Драгица Тривић, Весна Милановић Маштраповић, Биљана Томашевић, Лидија Ралевић, Милан Николић, Тамара Рончевић, Саша Хорват, Јасна Адамов, Сузана Јовановић Шанта и Александар Ђорђевић.

Свим колегиницама и колегама се захваљујем на великом залагању да се постигне циљ одржавања **Априлских дана о настави хемије** у 2026. години. Захваљујем се управама Српског хемијског друштва и Хемијског факултета Универзитета у Београду за пружену подршку и помоћ у организацији и реализацији скупа, Вери Ђушић из Канцеларије Српског хемијског друштва на ангажовању у припремању реализације скупа, као и студентима Универзитета у Београду - Хемијског факултета који су помогли у реализацији скупа.

Драгица Тривић

ПРВИ ДАН: 8. април 2026. (Сала за седнице)			
9:00 – 9:15	Отварање скупа: Декан Универзитета у Београду – Хемијског факултета, проф. др Горан Роглић Председник Српског хемијског друштва, проф. др Мелина Калагасидис Крушић Потпредседник Српског хемијског друштва и координатор Радне групе Српског хемијског друштва за реформу наставе хемије, проф. др Сузана Јовановић Шанта		
9:15 – 9:55	Пленарно предавање: Колико познајемо дугу? проф. др Братислав Обрадовић , Универзитет у Београду – Физички факултет		
9:55 – 10:35	Пленарно предавање: Balloonization - Teaching science effectively with models and analogies, проф. др Марина Стојановска , Универзитет Св. Тирила и Методија у Скопљу, Природно-математички факултет, Институт за хемију, Скопље, Република Северна Македонија		
10:35 – 11:00	Пауза		
11:00 – 11:40	Пленарно предавање: Дијететски суплементи за спортисте и младе: који, када и колико? Анте Блајић, мастер биологије и хемије , Природословно-математички факултет Свеучилишта у Сплиту и в. проф. др Милан Николић , Универзитет у Београду – Хемијски факултет		
11:40 – 12:20	Пленарно предавање: Спремна лабораторија - спреман наставник: смернице за безбедну и функционалну наставу хемије, в. проф. др Саша Хорват , Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет		
12:20 – 13:00	Пленарно предавање: Повратна информација у евалуацији рада ученика у настави хемије, проф. др Јасна Адамов , Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет		
13:00 – 14:00	Ручак (Библиотека)		
14:00 – 16:00	Радионица I (Лабораторија 501) Огледи у настави биохемије - информације о саставу намирница добијене експериментално, проф. др Сузана Јовановић Шанта , Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет	Радионица II (Сала за седнице) Наставници хемије и савремена образовна технологија, проф. др Јасна Адамов , Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет	Радионица III (Лабораторија 577) Од отпада до ресурса: хемија животне средине у учионици, др Александар Ђорђевић, научни сарадник , Институт за општу и физичку хемију и др Стефан Ивановић, научни сарадник , Универзитет у Београду - Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, Центар за хемију

ДРУГИ ДАН: 9. април 2026. (Сала за седнице)

9:00 – 9:40	Пленарно предавање: Вирус SARS-CoV-2 COVID-19 вакцине: очекивања, стварност и научене лекције, др Марија Вукчевић , Завод за биоциде и медицинску екологију, Београд
9:40 – 10:20	Пленарно предавање: Мисконцепције у контексту савременог приступа образовању - Најчешћи митови о поучавању и учењу, в. проф. др Тамара Рончевић и доц. др Маја Босанац , Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет
10:20 – 10:45	Пауза
10:45 – 11:25	Пленарно предавање: eTwinning у образовању будућих наставника хемије, проф. др Драгица Тривић , доц. др Весна Милановић Маштраповић и Исидора Благојевић , мастер професор хемије , Универзитет у Београду – Хемијски факултет
11:25 – 12:05	Пленарно предавање: Курикуларни садржаји органске хемије у различитим образовним системима, доц. др Биљана Томашевић , Универзитет у Београду – Хемијски факултет
12:05 – 12:30	Пауза
12:30 – 14:00	Усмена саопштења, председава в. проф. др Саша Хорват
	Експериментална и дигитална визуализација као алат за превазилажење концептуалних препрека у настави хемије, Антонина Марковић , Средња школа Крупањ, Мирјана Томић , Земунска гимназија, Београд
	Проучавање хемије у контексту српско-руске школе, Алина Лукманова , Основна српско-руска школа „Антон Чехов”, Нови Сад
	Ученици као истраживачи: Практични приступ одрживој хемији и еколошкој свести, Александра Наумоска , мастер хемије , др Пеце Шеровски , проф. др Марина Стојановска , Универзитет Св. Тирила и Методија у Скопљу, Природно-математички факултет
	Лудвиг Болцман – физичар који је променио разумевање хемије, Небојша Радовић , дипломирани хемичар , Универзитет у Београду – Хемијски факултет, Жељка Николић , научни сарадник , Институт за општу и физичку хемију, доц. др Весна Милановић Маштраповић , проф. др Ксенија Стојановић , проф. др Драгица Тривић , Универзитет у Београду – Хемијски факултет
	The Escape Room Approach in Natural Sciences (ESCAPE ROOM приступ природним наукама), prof. dr Katerina Rusevska , prof. dr Marina Stojanovska Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Natural Sciences and Mathematics
	Када хемија из уџбеника крене у свет: Интердисциплинарност у основној школи, Јелена Муцић , ОШ „Младост”, Београд
	Занимљива хемија на делу: од учионице до језера, Ивана Димитријевић Петровић , са ученицима природно-математичког смера, Гимназија Младеновац
14:00 – 15:00	Ручак (Библиотека)
15:00 – 16:00	Разговори: - Новине у такмичењима из хемије за ученике основних и средњих школа - Актуелна питања о образовању у области хемије Модератори: доц. др Весна Милановић Маштраповић , Универзитет у Београду – Хемијски факултет доц. др Милош Пешић , Универзитет у Београду – Хемијски факултет проф. др Душан Сладић , Универзитет у Београду – Хемијски факултет проф. др Сузана Јовановић Шанта , Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет
16:00 – 16:30	Евалуација и затварање скупа