

# Utjecaj flavonoida na autoimune bolesti

---

Petrić, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2011

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:725531>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEU ILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATI KI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK**

**UTJECAJ FLAVONOIDA NA AUTOIMUNE  
BOLESTI**

**FLAVONOIDS EFFECT ON AUTOIMMUNE  
DISEASES**

**SEMINARSKI RAD**

**Sara Petri**

**Preddiplomski studij molekularne biologije**

**Mentor: prof.dr.sc. Nada Oršoli**

**Zagreb, 2011**

# Sadržaj

1. Uvod.....	2
2. Imbenici nastanka autoimunih bolesti.....	4
3. Mehanizmi nastanka autoimunih bolesti.....	6
3.1 Uloga vlastitih antigena.....	6
3.2 Pojava zabranjenih klonova.....	8
4. Patogeneza autoimunih bolesti.....	10
4.1 Oštećenja uzrokovana antitijelima.....	10
4.2 Oštećenja uzrokovana kompleksima antitijelo-autoantigen.....	10
4.3 Oštećenja uzrokovana stanicama.....	11
5. Najčešće autoimune bolesti.....	12
5.1 Organospecifične.....	12
5.2 Organonespecifične (sustavne).....	16
6. Liječenje autoimunih bolesti.....	17
7. Flavonoidi.....	19
7.1 Biološka aktivnost.....	21
8. Primjeri uink flavonoida.....	23
8.1 Pozitivni.....	23
8.2 Negativni.....	25
9. Zaključak.....	26
10. Literatura .....	27
11. Sažetak .....	30
12. Summary.....	30

# 1. Uvod

Autoimune bolesti su već dugo predmet mnogih istraživanja. Još početkom prošlog stoljeća je primijećeno da se imunološki sustav može okrenuti protiv nas i umjesto napadanja stranih antigena napadati vlastite. Paul Ehrlich je to stanje nazvao „autotoksični horor“ (Kindt i sur, 2003).

Specifični imunološki sustav se razvio za prepoznavanje i borbu protiv svih mogućih antigena. Takav složen sustav ne može spriječiti nastajanje autoreaktivnih limfocita, ali postoje dobro razvijeni mehanizmi rješavanja tog problema (Roitt i Delves, 2001). Kada dođe do poremećaja u tim mehanizmima, organizam više nije zaštićen od autoreaktivnih antitijela i limfocita pa se razvija autoimunost (Kindt i sur, 2003).

Danas postoji preko 80 ljudskih bolesti klasificiranih kao sigurno ili vjerojatno autoimunog porijekla i od njih zajedno boluje oko 5-7% svjetske populacije. Iako se u cijelom svijetu broj oboljelih povećava, velika heterogenost i kompleksna etiologija ograničavaju razumijevanje patogeneze bolesti. Precizni mehanizmi razvoja još uvijek nisu poznati, ali se iz mnogih istraživanja može zaključiti da bitnu ulogu imaju i genetski i okolišni faktori (Miller, 2011).

Patogenezu i sliku bolesti određuje napadnuti autoantigen, odnosno organ na kojemu se on nalazi. Autoimune bolesti veoma se međusobno razlikuju, pa čak i ista bolest u različitim osobama može imati vrlo različite slike. Posljedica autoimunosti može biti samo pojava autoantitijela u krvi, a ponekad teška, pa i smrtonosna bolest koju ni najjača imunosupresija ne može zaustaviti. Autoimune bolesti se ugrubo dijele na organspecifične i organonespecifične (sustavne) bolesti, prema broju napadnutih organa. Između tih dviju krajnosti postoje brojni prelasci pa se u odnosu na njihovu specifičnost za organe zapravo govori o spektru autoimunih bolesti (Andreis i sur, 2004). Postoji tendencija da se više autoimunih bolesti pojavi u jedne osobe, a kada se to dogodi, bolesti su najčešće iz iste regije unutar spektra autoimunih bolesti (Roitt i Delves, 2001).

Idealna obrada autoimunih bolesti bi trebala biti usmjerena samo na reduciranje autoimunog odgovora, a ne dirati ostatak imunološkog sustava. Do danas se to nije postiglo. Današnje terapije za autoimune bolesti se baziraju na reduciranju simptoma da bi pacijenti mogli imati prihvatljivu kvalitetu života. U većini slučajeva, te obrade pružaju nespecifičnu supresiju imunološkog sustava i ne mogu razlikovati patološki autoimuni odgovor od zaštitnog imunog odgovora (Kindt i sur, 2003). Jedno od područja koja se intenzivno istražuju

u lije enju autoimunih bolesti su razne prirodne sastavnice koje imaju specifi no djelovanje na odre ene bolesti. Me u njima se posebno istie skupina tvari nazvana flavonoidima.

Flavonoidi su bitne sastavnice vo a, povr a i pi a, kao što su vino, aj, kakao i vo ni sokovi. Naj eše, flavonoidi imaju zajedni ku strukturu koja se sastoji od 2 aromatska prstena (A i B) koja su vezana pomo u 3 C atoma, formiraju i oksigenirani heterokrug (prsten C). S obzirom na varijacije u zasi enju osnovnog flavanskog prstena, njihove alkilacije i/ili glikozilacije i hidroksilacijskog uzorka molekula, flavonoidi se mogu podijeliti u 7 podrazreda: flavonoli, flavoni, flavanoni, flavanonoli, flavanoli (katehini), antocijanidini i izoflavoni. Iako su flavonoidi snažni antioksidansi *in vitro*, njihova sposobnost *in vivo* je ograni ena velikom biotransformacijom i konjugacijom koja se doga a tijekom apsorpcije u probavnom sustavu, u jetri i, kona no, u stanicama (Vauzour i sur, 2008).

U seminaru e se pokazati utjecaj nekih flavonoida na odre ene autoimune bolesti. Uz mnoštvo pozitivnih rezultata, prona en je i negativan utjecaj flavonoida.

## 2. imbenici nastanka autoimunih bolesti

Smatra se da se autoimunost ne razvija iz jednog faktora nego kombinacije različitih faktora (Kindt i sur, 2003). Autoimune bolesti imaju etiologiju koja uključuje mnogo faktora, genetske i okolišne. Svaki faktor, od kojih neki individualno mogu biti važni, može pridonijeti nastanku raznih bolesti u različitim kombinacijama. Uz ekspresiju određenih gena, veliku ulogu igraju i dob, okoliš, hormoni, infektivni agensi i imunoregulacija (Roitt i Delves, 2001). Iako je jasno da okolišni poticaj može prouzročiti stvaranje autoimune bolesti, istraživanja na blizancima i obiteljima su pokazala da genetski faktori također imaju važnu ulogu u modifikaciji rizika od bolesti (Lettre i Rioux, 2008). Pokazala su i da su mnogo veće frekvencije pojavljivanja više bolesti kod jednog oboljelog nego što je očekivano statistički, ali to nije uniforman fenomen u svim bolestima. Zanimljivo je da su multipla skleroza i reumatoidni artritis bolesti koje imaju smanjenu vjerojatnost koegzistiranja (Cooper, 2010). Perniciozna anemija, primjerice, je čak 50 puta češća u bolesnika s Hashimotovim tireoiditisom, nego u ostalih ljudi. Povezanost postaje čak i veća kad se kao kriterij uzme postojanje autoantitijela, bez obzira na to ima li bolesnik simptome bolesti ili ne. No, organspecifične su bolesti malokad povezane sa sustavnim (Andreis i sur, 2004).

**Geni** koji su povezani s nastankom autoimunih bolesti mogu biti iz sustava HLA i izvan njega. Iako geni HLA imaju glavnu povezanost s autoimunim bolestima, jer imaju središnju imunoregulacijsku ulogu, u nastanku autoimunih bolesti mogu sudjelovati i brojni drugi geni uključeni u regulaciju upalnog odgovora, izražaja citokina i kemokina te njihovih receptora, rasporeda i izražaja tkivnih antigena, membranskih molekula, transkripcijskih faktora i sl. Poremećaji tih gena sudjeluju u mehanizmima uspostave (i gubitka) tolerancije te u patogenezi autoimunih bolesti i krajnjih oštećenja ciljnih organa (Andreis i sur, 2004).

**Dob** je važan imbenik u nastanku autoimunosti. Autoimunost može nastati i u mladoj osobi, ali je mnogo češća u kasnijoj životnoj dobi. U stalnost pojave autoantitijela povisuje se sa životnom dobi. Spontane autoimune bolesti u životinja ne pojavljuju se prije nego što one uđu u drugu trećinu života, a teže su u starijih jedinki (Andreis i sur, 2004).

**Spol** se pokazao kao važan faktor u razvoju autoimunosti. Od 9 milijuna ljudi u SAD-u koji boluju od autoimunih bolesti, 6,7 milijuna su žene. Činjenica da žene češće obolijevaju je poznata već godinama, ali razlozi za to nisu potpuno shvaćeni. Postoje neka moguća objašnjenja. Žene općenito imaju jači imunološki odgovor. Smatra se da spolni steroidi imaju najbitniju ulogu. Vjerojatno je da ti hormoni, cirkuliraju i kroz tijelo, mijenjaju imunosni

odgovor mijenjaju i ekspresiju gena (Kindt i sur, 2003). Smatra se da su muški spolni hormoni imunosupresivniji od ženskih. U žena hormonski stres utječe na pojavu bolesti. Primjerice, sistemni eritematozni lupus u žena nastaje najčešće u reproduktivnoj dobi, kad su fiziološki povišene koncentracije spolnih hormona. U miševa koji spontano razvijaju autoimunost, bolest je blaža u kastriranih ženki a teža u kastriranih mužjaka (Andreis i sur, 2004).

**Okolišni faktori** doprinose razvoju autoimunosti. Dijeta bogata visoko zasićenim masnim kiselinama se pokazala dobra za pacijente s reumatoidnim artritisom. Sunce se pokazalo kao okidač za lezije na koži kod oboljelih od lupusa. Izlaganje organskim otapalima može inicirati autoimunost bazalne membrane koja rezultira Goodpasture-ovim sindromom. Mnoge bolesti kao što su SLE, miastenija gravis i autoimuna hemolitička anemija se mogu inicirati različitim lijekovima (Roitt i Delves, 2001).

**Infekcije** se također povezuju s autoimunošću. Postoje primjeri razvitka autoimunih bolesti nakon infekcije, najčešće u oboljelih koji imaju genetske predispozicije. U većini slučajeva kronične autoimune bolesti, problem je dugo vrijeme latencije i nemogućnost izolacije organizama iz oboljelih tkiva da bi se dokazao utjecaj mikroorganizma. Razlozi za izazivanje autoimunosti leže u križnoj reakciji s mikrobnim komponentama (molekularna mimikrija), kao i u djelovanju mikroorganizama kao superantigena. Pronađeni su i slučajevi gdje mikroorganizmi štite od razvoja spontanih autoimunih bolesti (Roitt i Delves, 2001).

### 3. Mehanizmi nastanka autoimunih bolesti

Neprikladan odgovor na vlastite antigene koji karakterizira sve autoimune bolesti može nastati iz humoralne ili stani ne imunosti. Svaki životinjski model je implicirao da su T limfociti CD4<sup>+</sup> primarni medijatori autoimune bolesti. Prepoznavanje antigena pomo u T stanice uklju uje kompleks T stanice, MHC molekule i antigenskog peptida. S obzirom na to, oboljeli mora imati MHC molekule i T stani ne receptore koji imaju sposobnost vezanja vlastitih antigena (Kindt i sur, 2003).

Mehanizmi nastanka autoimunosti se mogu podijeliti na one koji po inju zbog promijenjenih zna ajki reagiranja na vlastite antigene i one koji nastaju zbog pojave zabranjenih klonova (Andreis i sur, 2004).

#### 3.1 Uloga vlastitih antigena

Potencijalno autoreaktivni limfociti B normalno postoje u organizmu, a u autoimunosti njihovu reakciju, s pomo u limfocita T, izazivaju autoantigeni. Mehanizmi te aktivacije su zbog preglednosti razdijeljeni u 3 skupine, a naj eš e se ispreple u i nadopunjuju (Andreis i sur, 2004).

**Uloga nosa a** – Autoantigen naj eš e po ne podraživati autoreaktivne limfocite nakon unošenja vanjskih antigena. Takav antigen može promijeniti autoantigen, naj eš e tako da posluži kao imunogeni ni nosa . Dovoljno je da se izmjeni onaj dio autoantigena koji može poslužiti kao nosa tako da na taj novi nosa limfociti T ne budu tolerantni. Primjer promjene autoantigena nalazimo u slu ajevima davanja antihipertenzitivnog lijeka alfa-metildope. Taj lijek se veže za eritrocitni antigen Rh pa nastaju anti-Rh autoantitijela. Antieritrocitna autoimunizacija zamije ena je i prilikom infekcije nametnikom *Mycoplasma pneumoniae* koji modificira eritrocitnu membranu (Andreis i sur, 2004).

**Križna reakcija** – mikroorganizmi ponekad imaju neke epitope istovjetne epitopima doma ina, a neke razli ite. Nametni ki epitopi koji su istovjetni doma inovim djeluju kao hapteni, pa organizam tijekom infekcije stvara protutijela protiv unesenog antigena, ali i autoantitijela protiv vlastitoga haptena zbog križne reakcije. Križna reakcija jest mehanizam nastanka reumatske vru ice, bolesti srca i bubrega, koja se razvija nakon infekcije grla hemoliti kim streptokokom. Ta bakterija dijeli neke epitope s ljudskim endokardom i



bazalnom membranom glomerula, pa to omogućuje nastanak autoimunosti. Slično nastaju i autoimuni encefalitis nakon cijepljenja protiv bjesnoće, tireotoksikoza i ankilozirajuć i spondilitis. Taj mehanizam nastanka autoimunih bolesti naziva se molekularna mimikrija (Andreis i sur, 2004). U jednom istraživanju, 600 različitih monoklonskih antitijela specifičnih za 11 različitih virusa je testirano da se ustanovi njihova reaktivnost s normalnim tkivnim antigenima. Više od 3% virusno-specifičnih antitijela se također vezalo sa normalnim tkivom, što sugerira da je molekularna mimikrija relativno čest fenomen (Kindt i sur, 2003). (Tablica 1.)

**Idiotipski podražaj** – Ako postoje niske koncentracije prirodnih autoantitijela, ta autoantitijela vežu neki autoantigen, a te komplekse hvata prednja stanica. Prednja stanica prednjačuje različite epitope preradjenog antigena, između ostalog i dijelove paratopa (idiotipa autoantitijela koji je vezao autoantigen). Te ulomke prepoznaju odgovarajuć i klonovi limfocita T (koji nisu zabranjeni, jer idiotipski epitopi autoantitijela nisu ni mogli biti prednjačeni tijekom sazrijevanja limfocita T u timusu) i dalje se aktiviraju. Te iste epitope prednjačuje i limfocit B, pa se veže za aktivirani pomagaćki limfocit T i tako ostvaruje kostimulacijski signal potreban za proliferaciju i diferencijaciju klona. Umnožen i broj autoantitijela i uzrokuje autoimunost (Andreis i sur, 2004).

**Tablica 1.** Primjeri molekularne mimikrije\*

MOLEKULA MIKROBA	KOMPONENTA U TIJELU
<b>Bakterija:</b>	
<i>Shigella flexneri</i>	HLA-B27
<i>Klebsiella nitrogenaza</i>	HLA-B27
<i>Proteus mirabilis ureaza</i>	HLA-DR4
<i>Mycobact. tuberculosis</i> & 5 kDa hsp	Zglob (adjuvans artritisa)
<i>E. coli</i> DNAJ hsp	DRB1 epitop T-stanice
<b>Virusi:</b>	
Coxsackie B	Miokard
Coxsackie B	Dekarboksilaza glutamata
EBV gp110	DRB1 epitop T-stanice
HSV glikoprotein	Mijelinski bazični protein
Hemaglutinin ospice	Receptor acetilkolina
Retroviralni gag p32	U-1 RNA

\*Prilagođeno prema Roitt i Delves, 2001

### 3.2 Pojava zabranjenih klonova

Iako organizam ima snažne selekcijske mehanizme koji uspostavljaju toleranciju vlastitoga, organizam ipak ima razmjerno mnogo potencijalno autoreaktivnih limfocita. Predo ne stanice timusnog epitela izazivaju negativnu selekciju (smrt) nezrelih autoreaktivnih limfocita T ako ih vežu visokim afinitetom. Neki su od tih epitopa ili u premalim koncentracijama ili su vezani premalim afinitetom da bi izazvali negativnu selekciju pa autoreaktivni klon limfocita T preživi. Oni se u pogodnim okolnostima mogu aktivirati (Andreis i sur, 2004).

**Kostimulacijski podražaj** – nepodraženi limfociti T esto prepoznaju brojne autoantigene, ali se ne aktiviraju jer stanice pred o uju vrlo nisku koncentraciju autoantigena i vežu se malim afinitetom ili antigen pred o uju neprofesionalne pred o ne stanice (epitel št itnja e) koje slabo izražavaju kostimulacijske molekule. To uzrokuje perifernu toleranciju, jer vezanje limfocita T bez kostimulacijskog signala uzrokuje njegovu specifi nu anergiju. Kada takve pred o ne stanice budu potaknute na izražaj kostimulacijskih molekula, to uzrokuje podražaj limfocita T. Uvjete za o itovanje kostimulacijskog signala stvorit e lokalna infekcija i upala ili davanje adjuvansa, posebice uz IL-2 (Andreis i sur, 2004).

**Reagiranje na odijeljene autoantigene** - Za neke od perifernih autoantigena, u fiziološkim uvjetima ne postoji tolerancija jer nisu pred o eni tijekom sazrijevanja u timusu i tako izbjegnu negativnu selekciju . To vrijedi za odijeljene antigene. Oni su nereaktivni jer su anatomski odijeljeni, lu e se citokini (TGF- $\beta$ ) koji poti u reakciju limfocita T koja ne ošte uje tkiva i poja ano izražavaju molekule apoptotnog puta što uzrokuje apoptozu limfocita koji prodru na ta mjesta. Antigeni o ne le e odijeljeni su od krvnog opticaja jer nemaju limfnih žila, antigeni spermija odijeljeni su u sjemenim kanali ima (i pojavljuju se poslije u životu), a antigeni živ anih ovojnica (bazi ne mijelinske bjelan evine) odijeljeni su krvno-moždanom zaprekom. Nakon ozljede tih organa i prodora antigena u limfu, a zatim i u podru ne limfne vorove, ti su antigeni esto cilj autoreaktivnih specifi nih klonova, ak i u neozlije enom parnom organu (Andreis i sur, 2004).

**Poreme aji imunoregulacije** – fiziološki imunosupresivno djeluju kortikosteroidi, supresijski citokini IL-10 i TGF- $\beta$  te prostaglandini, pa ošte enja njihove funkcije mogu stvoriti osnovu za razvitak autoimunosti. Poreme aji regulacijske mreže imaju zna ajan u inak na razvoj autoimunosti i na razli ita o itovanja bolesti. Pojedini imbenik ne mora nužno izazvati autoimunost, nego može samo pospješiti njen razvoj (Andreis i sur, 2004).

**Poliklonska aktivacija limfocita** – Poliklonski aktivatori nespecifično podražuju potencijalno autoreaktivne limfocite T ili B, esto djeluju i na druge membranske receptore, a ne na receptor za antigen. Primjer je lipopolisaharid *E. coli* (LPS), koji poliklonski aktivira limfocite B. Slično mogu djelovati i dijelovi drugih bakterija i virusa pa to objašnjava povezanost infekcije i autoimunosti. Superantigeni koji podražuju velik broj limfocita T, podrijetlom iz bakterija i virusa, u određenim uvjetima također pogoduju razvoju autoimunosti. (Andreis i sur, 2004).

Osim LPS, najpoznatiji poliklonski aktivatori limfocita B jesu PPD (pročišćena bjelanjina iz kulture BCG), protein A i *Staphylococcus aureus*, imunokompleksi, neki antibiotici, mikoplazme, neki virusi (virus ospice, Epstein-Barr virus), tripanosoma, uzročnik malarije (Andreis i sur, 2004).

## 4. Patogeneza autoimunih bolesti

Aktiviranje autoreaktivnih klonova tek je prvi korak na putu do kliničke slike autoimunske bolesti. Nakon neželjenog podražaja, aktivirani autoreaktivni klonovi stvaraju izvršne imbenike – stanice ili protutijela koja se reaguju s autoantigenima. Reagiranje izvršnog kraka autoimunske reakcije s ciljnim antigenima uzrokuje bolest, ali se njena manifestacija veoma razlikuje od osobe do osobe (Andreis i sur, 2004).

### 4.1 Oštećenja uzrokovana antitijelima

Autoantitijela reaguju na autoantigen koji se može nalaziti na staničnoj površini, u citoplazmi ili jezgri. Stanica koja nosi ciljani autoantigen može biti razorena ili autoantigen može biti neki stanični receptor pa dolazi do njegovog blokiranja i prestanka fiziološke funkcije ili pretjerane stimulacije oponašanjem fiziološkog liganda. Najčešći mehanizam je razaranje ciljane molekule, odnosno stanice i organa koji je nosi. Tu se radi o preosjetljivosti II. oblika, gdje autoantitijelo nakon vezanja za autoantigen aktivira komplement i, s pomoću Fc receptora, monocite, neutrofile, bazofile i mastocite. To oslobađa kemokine koji privlače neutrofile u ciljno tkivo uzrokujući oštećenje ciljnih stanica (Andreis i sur, 2004).

### 4.2 Oštećenja uzrokovana kompleksima antigen-protutijelo

Kompleksi antigena i protutijela nastaju kad se u reakciji na antigen stvaraju specifični protutijela. Te imunokomplekse uklanjaju eritrociti i fagociti s pomoću svojih receptora za Fc-odlomak protutijela i komponente komplementa. Kada se radi o velikim količinama antigena ili kada je antigen trajno (kronično) prisutan u organizmu, stvaraju se prevelike količine imunokompleksa koji se ne mogu odmah ukloniti nego se talože u zglobnim ovojnica, stijenkama malih krvnih žila, bubrežnim glomerulima i koroidnom pleksusu (preosjetljivost III. oblika). To se događa u nekim autoimunskim bolestima, primjerice u sistemnom eritematoznom lupusu gdje su ciljni antigeni zapravo uobičajeni stanični sastojci (Andreis i sur, 2004). U reumatoidnom artritisu postoje autoantitijela na Fc-odlomak IgG poznata kao antiglobulini ili reumatoidni faktori. Ona mogu biti na IgG i IgM pa

dolazi do agregacije i taloženja u zglobovima (Roitt i Delves, 2001). Stvaranje imunokompleksa oštećuje tkiva jer se aktivira komplement i dolazi do lize ciljnih stanica, potiče se lokalna upalna reakcija, oslobađaju se kemotaktičke molekule koje privlače upalne leukocite, aktiviraju se upalne stanice i potiče se citotoksičnost ovisna o protutijelima (Andreis i sur, 2004).

### 4.3 Oštećenja uzrokovana stanicama

Ponekad izvršni krak autoimunosti posreduju limfociti T. Izvršni autoimunosni limfociti T mogu djelovati izravno ili aktivacijom makrofaga i izazivanjem lokalne upale. Aktiviranje makrofaga citokinima znači razvoj reakcije preosjetljivosti IV. oblika. Posebno je važno ulogu IFN- $\gamma$  koji potiče izražavanje molekula MHC-II na stanicama koje ih normalno ne otkrivaju. Povećanje izražavanja molekula MHC-II olakšava predočavanje autoantigena pa to može pojačati autoimunost. Djelovanje citotoksičnih limfocita T (CD8<sup>+</sup>) u oštećenju vlastitih tkiva teško je dokazati i još ga valja potvrditi. Citotoksični limfociti mogu pridonositi razvoju autoimunosti i oštetiti vlastita tkiva prilikom virusne infekcije. To je vezano za njihovu osnovnu funkciju ubijanja vlastitih zaraženih stanica (Andreis i sur, 2004).

## 5. Naj eš e autoimune bolesti

### 5.1 Organospecifi ne autoimune bolesti

Imunosni odgovor cilja antigen koji je jedinstven za neki organ ili žlijezdu, tako da je manifestacija uglavnom ograničena na taj organ. Šteta može biti prouzročena humoralnim ili staničnim mehanizmima (Kindt i sur, 2003). (Tablica 2.)

**Tablica 2.** Naj eš e organospecifi ne autoimune bolesti, autoantigeni i na in imunološkog odgovora\*

Bolest	Autoantigen	Imunološki odgovor
<b>ORGANOSPECIFI NE AUTOIMUNE BOLESTI</b>		
Adisonova bolest	Nadbubrežne stanice	Autoantitijela
Autoimuna hemoliti ka anemija	RBC membranski proteini	Autoantitijela
Goodpasture sindrom	Bazalne membrane bubrega i pluća	Autoantitijela
Graves-ova bolest	TSH receptori	Autoantitijela (stimuliraju i)
Hashimoto tiroiditis	Stanice i proteini štitnjače	T <sub>DTH</sub> stanice, autoantitijela
Idiopatska trombocitopenija purpura	Membranski proteini trombocita	Autoantitijela
Inzulin-ovisni diabetes mellitus	β-stanice gušterače	T <sub>DTH</sub> stanice, autoantitijela
Miastenija gravis	Acetilkolinski receptori	Autoantitijela (blokiraju a)
Infarkt miokarda	Srce	Autoantitijela
Perniciozna anemija	parijetalne st.,intrinzi ni faktor	Autoantitijela
Poststreptokokalni glomerulonefritis	bubreg	Antigen-antitijela kompleksi
Spontana neplodnost	sperma	Autoantitijela

\*Prilagođeno prema Kindt i sur, 2003

#### Hashimoto tiroiditis

Bolest koja je naj eš a kod srednjovje nih žena. Osoba proizvodi auto-antitijela i senzibilizirane T<sub>H</sub>1 stanice specifi ne za antigene štitnjače. DTH odgovor (engl. delayed-type hypersensitivity) je karakteriziran velikom infiltracijom štitnjače limfocitima, makrofagima i plazma stanicama, koje formiraju limfocitne folikule i zametne centre. Upalni proces uzrokuje

povećanje štitne žlijezde. Formiraju se antitijela protiv nekih proteina štitnjače kao što su tireoglobulin i tiroid peroksidaza koji su zaduženi za unos joda. Većanje tih autoantitijela ometa unos joda i vodi smanjenoj proizvodnji hormona štitnjače (Kindt i sur, 2003).

### **Autoimune anemije**

Uključuju pernicioznu anemiju, autoimunu hemolitičku anemiju i hemolitičku anemiju induciranu lijekovima. Perniciozna anemija je uzrokovana auto-antitijelima za intrinzični faktor, membranski protein u gastrinim parijetalnim stanicama. On regulira unos vitamina B12 iz tankog crijeva. Većanjem autoantitijela, blokira se apsorpcija vitamina B12. On je nužan za hematopoezu. Ova anemija se liječi i injekcijama vitamina B12, što nadomješta defekt. Hemolitička anemija je uzrokovana auto-antitijelima na RBC antigene (engl. red blood cell), što uzrokuje lizu posredovanu komplementom, ili opsonizaciju posredovanu antitijelima i fagocitozu eritrocita. Jedan oblik se može inducirati lijekovima: kada npr. penicilin ili metildopa (anti-hipertenzivni agens) dođe u reakciju sa eritrocitima, stanice postaju antigenske (Kindt i sur, 2003).

### **Goodpasture sindrom**

Stvaraju se autoantitijela koja su specifična za antigene bazalne membrane glomerula bubrega i alveola pluća. Aktivira se komplement što vodi do izravnog oštećenja stanica i upalnog procesa zbog nakupljanja produkata komplementa. Oštećenje tih tkiva vode do oštećenja bubrega i krvarenja u plućima. Smrt može nastupiti u roku od nekoliko mjeseci od pojave simptoma (Kindt i sur, 2003).

### **Diabetes Mellitus ovisan o inzulinu**

Bolest koja pogađa 0,2% populacije. Uzrokovana je autoimunim napadom na gušteraču. Meta su  $\beta$ -stanice koje proizvode inzulin. Lokalna proizvodnja citokina uključuje IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  i IL-1. Smatra se da je uništenje stanica uzrokovano citokinima i litičkim enzimima iz aktiviranih makrofaga. Autoantitijela mogu pridonijeti uništenju stanica tako što se aktivira liza komplementom, antitijelom ili zbog citotoksičnosti uzrokovane stanicama ovisnima o antitijelu (ADCC). Abnormalnosti u metabolizmu glukoze mogu dovesti do ozbiljnih metaboličkih problema kao što su ketoacidoza i povećana proizvodnja urina. Kasni stadiji bolesti su karakterizirani aterosklerotičnim vaskularnim lezijama, koje mogu uzrokovati gangrenu u ekstremitetima zbog loše cirkulacije, zatajenje bubrega i sljepoću. Dolazi do smrti ako se ne liječi. Najčešća terapija je svakodnevno uzimanje inzulina. Ono

dosta pomaže u kontroliranju bolesti ali problem ne nestaje potpuno jer te uzete doze nisu jednake reguliranom otpuštanju hormona. Drugi problem kod ove bolesti je to što je moguće da se godinama ne otkrije i dođe do velikog i nepopravljivog oštećenja gušterače prije početka obrade (Kindt i sur, 2003).

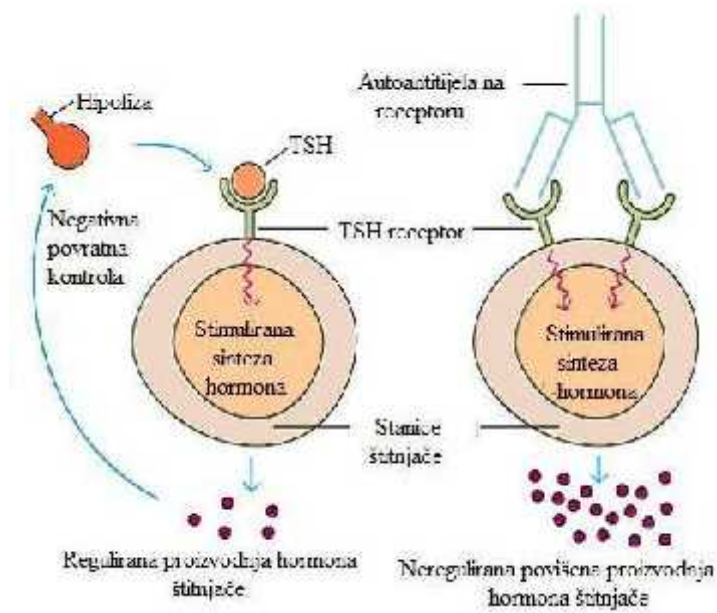
### **Graves-ova bolest**

Proizvodnja hormona štitnjače je pod regulacijom TSH (engl. thyroid-stimulating hormone), koji se proizvodi u hipofizi. Vežanje TSH na receptor stanica štitnjače aktivira adenilat ciklazu i stimulira sintezu 2 hormona štitnjače: tiroksina i trijodtironina. Pacijent s Graves-ovom bolešću u proizvodi autoantitijela koja se vežu na receptor za TSH i oponašaju njegovu normalnu funkciju. Za razliku od TSH, auto-antitijela nisu regulirana i dolazi do pretjerane stimulacije štitnjače. (Slika 1.) Razvija se teška hipertireoza zbog pojačanog lučenja hormona štitnjače. Iz tog razloga se zovu antitijela koja dugoročno stimuliraju štitnjaču (engl. long-acting thyroid-stimulating, LATS antibodies) (Kindt i sur, 2003).

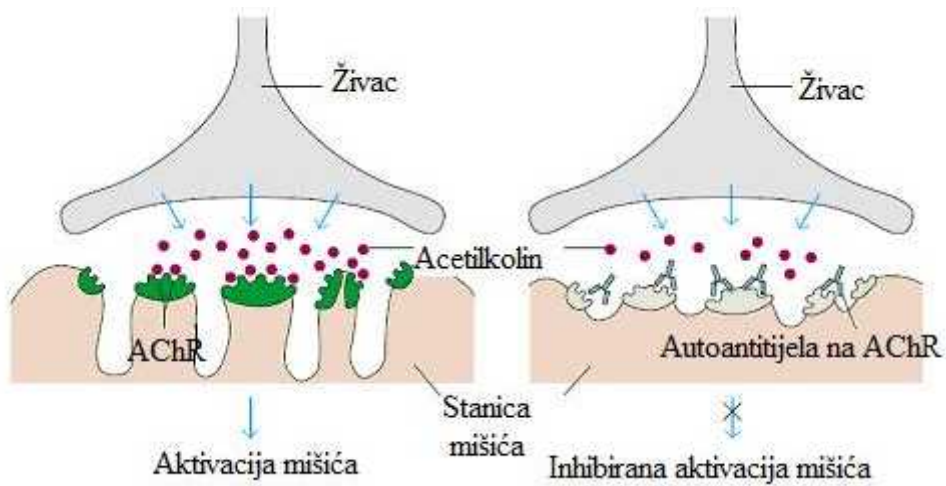
### **Miastenija gravis**

To je bolest posredovana blokirajućim antitijelima (antagonistima). Ona se vežu na acetilkolinne receptore motornih krajeva ploče mišića, blokiraju i normalno vežanje acetilkolina i inaktiviraju i lizu stanice posredovanu komplementom. (Slika 2.) Rezultat je progresivno slabljenje skeletnih mišića. S vremenom, antitijela uništavaju stanice s receptorima. Rani znakovi bolesti su padajući očni kapci i nemogućnost povlačenja kutova usana. Ako se ne liječi, može doći do ozbiljnih problema s hranjenjem kao i pokretanjem. Uz prikladno liječenje, moguće je normalan život pojedinca (Kindt i sur, 2003). Bolesnici povoljno reagiraju na lijekove koji koče djelatnost acetilkolinesteraze (Andreis i sur, 2004).





**Slika 1.** Mehanizam Graves-ove bolesti (Prilagođeno prema Kindt i sur, 2003)



**Slika 2.** Mehanizam Miastenije gravis: AChR – receptor za acetilkolin (Prilagođeno prema Kindt i sur, 2003)

## 5.2 Organonespecifi ne (sustavne) autoimune bolesti

Granica tih bolesti prema organospecifi nim bolestima nije jasna. Vrlo su brojne i raznolike, a raznolikost se odnosi i na razli itost iste bolesti u razli itih bolesnika

Za razliku od organospecifi nih bolesti koje uklju uju preosjetljivost II. i IV.oblika, u organonespecifi nim bolestima stvaraju se imunokompleksi (preosjetljivost III.oblika) koji aktiviraju komplement i poti u fagocitozu stanice (Andreis i sur, 2004).

Odgovor je upu en mnogim antigenima i uklju uje mnoga tkiva i organe. Bolesti reflektiraju generalni defekt regulacije imunosti koji rezultira u hiperaktivnim T i B stanicama. Ošte enje tkiva je široko rasprostranjeno, i uzrokovano je i stani nim i humoralnim imunostnim odgovorom (Kindt i sur, 2003). (Tablica 3.)

**Tablica 3.** Naj eš e sustavne autoimune bolesti, autoantigeni i na in imunološkog odgovora\*

Bolest	Autoantigen	Imunološki odgovor
<b>SUSTAVNE AUTOIMUNE BOLESTI</b>		
Multipla skleroza	Mozak ili bijela tvar	TH1 i Tc, autoantitijela
Reumatoidni artritis	Vezivno tkivo, IgG	Autoantitijela, kompleksi
Skleroderma	Srce, pluća, gastrointestinalni trakt, bubrezi	Autoantitijela
Sjorengen sindrom	Žlijezde slinovnice, jetra, bubrezi	Autoantitijela
Sistemski lupus eritematosus	DNA, jezgrini proteini, RBC i membrane trombocita	Autoantitijela, kompleksi

\*Prilago eno prema Kindt i sur, 2003

### **Sustavni lupus eritematosus (SLE)**

Uglavnom se pojavljuje u žena između 20 i 40 godina. Odnos žena prema muškarcima je 10:1. SLE je okarakteriziran temperaturom, slaboš u, artritisom, osipima, upalom pluća i disfunkcijom bubrega. Bolesnici mogu proizvoditi antitijela na mnoge tkivne antigene, kao što su DNA, histoni, RBC, trombociti, leukociti, faktori zgrušavanja. Me ureakcija tih auto-antitijela sa specifi nim antigenima uzrokuje raznolike simptome. Autoantitijela specifi na za RBC i trombocite mogu, na primjer, dovesti do lize posredovane komplementom, što rezultira hemoliti kom anemijom i trombocitopenijom. Kada se imunokompleksi auto-antitijela s razli itim jezgrenim antigenima nakupe uz stijenke malih krvnih žila, razvija se hipersenzitivna reakcija tipa III. Kompleksi aktiviraju sustav

komplementa iji proizvodi ošte uju stijenku krvnih žila, što dovodi do vaskulitisa i glomerulonefritisa (Kindt i sur, 2003).

### **Multipla skleroza (MS)**

Naj eš i je razlog neurološke onesposobljenosti u zapadnim zemljama koja je povezana s bolestima. Simptomi mogu biti blagi, kao što je utrnula udova, sve do ozbiljnih kao što su paraliza i gubitak vida. Većina ljudi sa MS su dijagnosticirani između 20 i 40 godina. Oboljeli proizvode autoreaktivne T stanice koje sudjeluju u stvaranju upalnih lezija uzduž mijelinske ovojnice u živcima. Cerebrospinalna tekućina u pacijenata s aktivnom MS sadrži aktivirane T limfocite, koji infiltriraju moždano tkivo, uzrokuju karakteristične upalne lezije, i uništavaju mijelin. S obzirom da mijelin djeluje kao izolator živaca, njegov raspad vodi do mnogih neuroloških disfunkcija. MS pogađa žene 3 puta češće nego muškarce (Kindt i sur, 2003).

### **Reumatoidni artritis**

jest autoimuni poremećaj, najčešće pogađa žene od 40 do 60 godina starosti. Od njega boluje otprilike 0,5-1 % ljudske populacije diljem svijeta (Quan i sur, 2008). Glavni simptom je kronična upala zglobova, iako hematološki, kardiovaskularni i respiratorni sustav također mogu biti pogođeni. Mnogi oboljeli proizvode autoantitijela nazvana reumatoidni faktori koji su reaktivni sa determinantama u Fc regiji IgG. Klasični reumatoidni faktor je IgM antitijelo s tom reaktivnošću. Takva antitijela se vežu za cirkulirajuće IgG, i stvaraju IgG-IgM komplekse koji se talože u zglobovima. Oni mogu aktivirati kaskadu komplementa, što dovodi do hipersenzitivne reakcije tipa III, a to do kronične upale zglobova (Kindt i sur, 2003).

## 6. Liječenje autoimunih bolesti

Posebno se uinkovito liječe one autoimunsne bolesti u kojih je moguća metabolička kontrola, primjerice zamjensko davanje tiroksina kod hipotireoze ili antagonističkih antitireoidnih tvari kod hipertireoze (Andreis i sur, 2004).

Imunosupresivni lijekovi (npr. kortikosteroidi, azatioprin, ciklofosfamid) se često daju u cilju smanjenja proliferacije limfocita. Smanjuju i općenito imunosni odgovor, takvi lijekovi reduciraju težinu autoimunih simptoma. Generalna redukcija u imunom odgovoru stavlja pacijenta u veći rizik od infekcije ili razvitka raka. Malo selektivniji pristup uključuje ciklosporin A ili FK506. Ti lijekovi inhibiraju samo T stanice koje su aktivirane antigenom, a ne diraju neaktivirane (Kindt i sur, 2004).

Plazmaforeza je korisna u pacijenata s autoimunim bolestima koje uključuju antigen-antitijela komplekse, koji se uklanjaju iz plazme. U tom procesu, plazma se uklanja iz pacijentove krvi konstantnim centrifugiranjem. Krvne stanice se resuspendiraju u pogodnom mediju i vrte u pacijenta. Uklanjanje kompleksa, iako samo privremeno, rezultira kratkotrajnom redukcijom simptoma (Kindt i sur, 2004).

Cijepljenje T stanicama je moguća terapija – osnova toga su eksperimenti sa EAE životinjskim modelima. Štakori kojima su injektirane male doze (manje od  $10^4$ ) kloniranih T stanica specifičnih za MBP, nisu razvili simptome EAE. Postali su rezistentni na razvoj EAE kada su izazvani s letalnom dozom aktiviranih MBP- specifičnih stanica ili MBP u adjuvansu (Kindt i sur, 2004).

Blokada peptida MHC molekula može modulirati autoimuni odgovor; sintetički peptidi koji se razlikuju u samo jednoj aminokiselini su se uspjeli vezati na odgovarajuću MHC molekulu. Pretpostavlja se da sintetički peptid služi kao kompetitor, i okupira antigen vezajuće mjesto na MHC molekuli (Kindt i sur, 2004).

Monoklonska antitijela su se uspješno koristila pri obradi autoimunih bolesti u nekoliko životinjskih modela.

Postoje mnogi načini liječenja autoimunih bolesti, tu su nabrojani samo neki. Injenica je da se još uvijek nije pronašao način liječenja koji se može široko provoditi, koji reducira simptome i samu bolest, a ne šteti organizmu.

## 7. Flavonoidi

Fenolni spojevi su široko rasprostranjeni u biljaka. Jedna od najvećih grupa fenolnih spojeva su flavonoidi, koji su bitni za okus i boju raznog voća i povrća, kao i tvari proizvedenih iz njih, primjerice vino, čaj i čokolada (Block, 1992). Više od 8000 flavonoida je otkriveno u biljkama (Kandaswami and Middleton, 1994). Oni u biljkama služe kao pigmenti, inhibitori enzima, prekursori toksičnih tvari, za zaštitu od UV svjetla, kao heliraju i spojevi metala, reduciraju i spojevi. Uključeni su i u fotosenzitizaciju i prijenos energije, morfogenezu i determinaciju spola, razinu respiracije i fotosinteze, djelovanje biljnih hormona rasta i regulatora, kao i u ekspresiju gena (Di Carlo i sur, 1999).

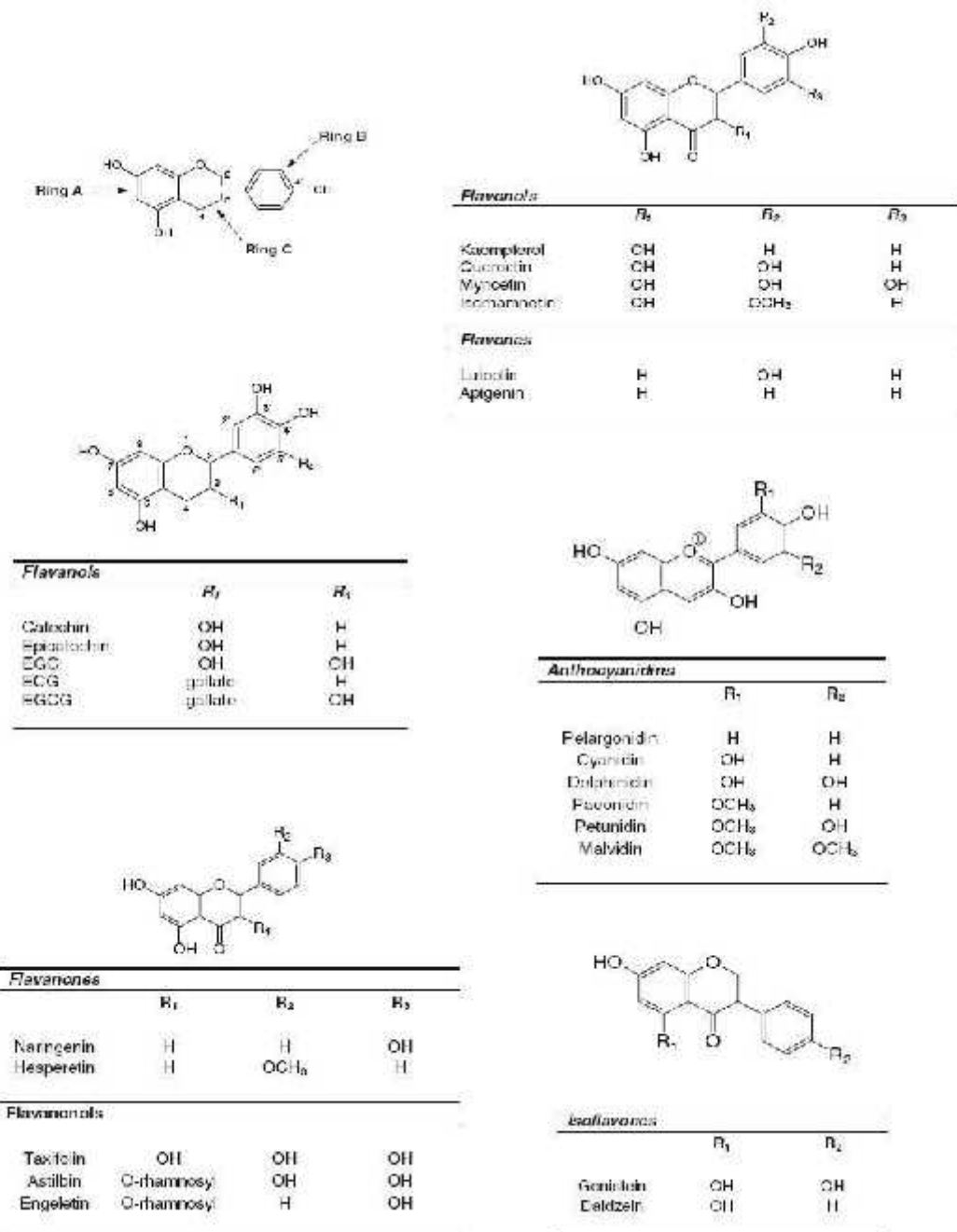
Flavonoidi su tvari od 15 C atoma, s 2 fenolna prstena koja su povezana sa C3 dijelom, na način da A prsten ima karakterističan uzorak hidroksilacije na poziciji 5 i 7. B prsten je uglavnom 4',3'4' ili 3'4'5' hidroksiliran. Glavni razredi su flavonoli, flavoni, flavanoni, katehini, antocijanidini, izoflavoni i flavanonoli (Cook and Samman, 1996). (Slika 1.) Glavni izvori flavonoida su kakao, čaj, crno vino, razno voće kao što su borovnice, jabuke, jagode, grožđe, citrusno voće. Ima ih mnogo i u soji, luk, celeru, brokuli, artičokama, rajčicama (Vauzour i sur, 2008). (Tablica 4.)

**Tablica 4.** Najčešći flavonoidi u prehrani\*

PODRAZRED	FLAVONOIDI U HRANI	HRANA KAO IZVOR
<b>Antocijanidini</b>	Cijanidin, Delfinidin, Malvidin, Pelargonidin, Peonidin, Petunidin	Bobiasto voće; crno grožđe i vino
<b>Flavanoli</b>	Katehin, Epikatehin, Epigalokatehin Epikatehin galat, Epigalokatehin galat Theaflavini, Thearubigini, Proantocijanidini	Katehini: čaj (posebno zeleni i bijeli), čokolada, grožđe, bobiasto voće, jabuke; Theaflavini, Thearubigini: čajevi (posebno crni) Proantocijanidini: čokolada, jabuke, bobiasto voće, crno grožđe i vino
<b>Flavanoni</b>	Hesperetin, Naringenin, Eriodictiol	Citrusno voće i sokovi, npr. naranče, grejpfrut i limun
<b>Flavonoli</b>	Kvercetin, Kempferol, Miricetin, Izoramnetin	Široko rasprostranjeni: žuti luk, kelj, brokula, jabuke, bobiasto voće, čajevi
<b>Flavoni</b>	Apigenin, Luteolin	Peršin, majčina dušica, celer, paprike
<b>Izoflavoni</b>	Daidzein, Genistein, Glicitein	Soja i hrana od soje

\*prilagođeno prema: <http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/phytochemicals/flavonoids/>

Njihova apsorpcija ovisi o nekoliko imbenika. Većina flavonoida je glikozilirana, i kao takvi se ne mogu apsorbirati u tankom crijevu. Izoflavoni se najlakše apsorbiraju, dok flavanoli i antocijanini jako loše. Također, bakterije koje žive u crijevu metaboliziraju flavonoide u razne metabolite, ovisno koje su bakterije prisutne. Flavonoidi koji se uspiju apsorbirati prolaze daljnju biotransformaciju u jetri. To sve valja uzeti u obzir pri istraživanju njihovih učinaka (Manach i sur, 2005).



Slika 3. Struktura glavnih razreda flavonoida

## 7.1 Biološka aktivnost

Biološka uloga nije potpuno poznata kod svih flavonoida. Fenolne tvari koje ljudi konzumiraju se nikad nisu smatrale nutrijentima i njihova moguća korist za ljudsko zdravlje je tek nedavno uzeta u obzir. Danas postoji veliki interes za biološke u inke fenolnih komponenti s obzirom da postoje dokazi da prehrana bogata voćem i povrćem štiti od bolesti srca i krvnih žila i nekih formi raka. Otkriveno je nekoliko naćina na koje flavonoidi djeluju u organizmu (Cook and Samman, 1996).

S obzirom da se smatra da su slobodni kisikovi radikali i lipidna peroksidaza uključeni u mnoge bolesti, veliki interes istraživanja je antioksidantna aktivnost fenolnih tvari, posebno flavonoida. Drugi naćin na koji bi flavonoidi mogli pružati zaštitu je njihova sposobnost da se endogenim estrogenima. Flavonoidi su sposobni i modulirati aktivnost enzima i utjeću na ponašanje mnogih stanićnih sustava, što sugerira da te tvari možda posjeduju veliku antihepatotoksićnu, antialergijsku, antiupalnu, antiosteoporotiku ićak antitumorsku aktivnost (Di Carlo i sur, 1999).

Protuupalna svojstva flavonoida su pokazana *in vivo* i *in vitro*. Ućin inak flavonoida na imunosni sustav je kompleksan i još uvijek nejasan. Uć visokim koncentracijama inhibiraju funkciju limfocita, dok uć nižim djeluju kao imunostimulansi uć imunodeficientnih osoba (Boik, 1996). Imunomodulirajuća aktivnost flavonoida ovisi djelomićno o njihovom kapacitetu inhibiranja nastanka eikozanoida ić histamina ić jer su „ista ić“ slobodnih radikala (Di Carlo i sur, 1999).

Jedno istraživanje je pokazalo da dva flavonoida, epigalokatehin galat ić miricetin, stupaju uć mećureakciju s komponentama komplementa ić inhibiraju kaskadu reakcija klasićnog puta. To pokazuje da flavonoidi možda funkcioniraju kao prirodni biološki modifikatori mnogih mehanizama uključujući ić antikomplementski uć inak (Nakagami i sur, 1995).

Mnogi dokazi ukazuju da odrećeni flavonoidi, ovisno o strukturi, mogu utjecati (uglavnom inhibirati) proćese izlućivanja, mitogenezu, mećureakcije izmeću stanica uključujući ić moguće uć inke na ekspresiju ić funkciju adhezićjskih molekula. Joć jedan zanimljiv mehanizam djelovanja flavonoida je da nać neke stanice nemaju utjecaj dok one miruju. Kada se te stanice aktiviraju nekakvim stimulusom, nastaje tvar osjetljiva na flavonoide ić mećureakcija s njima jako mijenja ishod aktivacije (Middleton ić Kandaswami, 1992).

Flavonoidi mogu ić modulirati signalne putove uć stanici. Prijenos signala se provodi fosforilacijom proteina kinazama, što utjeće nać aktivnost transkripcićjskih faktora. Smatra se

da flavonoidi utječu na kronične bolesti tako što selektivno inhibiraju kinaze (Williams i sur, 2004). Također je i rast stanice reguliran faktorima rasta preko kaskade fosforilacije. Flavonoidi mogu mijenjati i signalizaciju rasta (Lambert i Yang, 2003).



## 8. Primjeri u inka flavonoida na autoimune bolesti

Flavonoidi i njihov u inak na autoimune bolesti je podru je koje se danas intenzivno istražuje. Zbog velikog broja flavonoida, kao i autoimunih bolesti, tu e se navesti samo neki primjeri koji pokazuju mogu e mehanizme djelovanja i u inka flavonoida.

### 8.1 Pozitivan u inak

**Luteolin**, bitan lan flavonoidne obitelji, ima imunomodulatorni u inak koji bi mogao biti koristan u lije enju neurodegenerativnih bolesti kao što su MS, koje imaju patologiju uzrokovanu T-stanicama. *In vitro* istraživanja pokazala su da luteolin inhibira aktivaciju T stanica i reducira proliferaciju autoreaktivnih T-stanica induciranih s  $\alpha$  B-kristalinom i PLP, mogu im autoantigenima u MS i eksperimentalnom autoimunom encefalomijelitisu (EAE), animalnom modelu MS-a u glodavaca. Dodatno, luteolin blokira stimulaciju mastocita mijelinskim bazi nim proteinom koji su sposobni aktivirati T-stanice. Pokazano je i da luteolin može reducirati indukciju proupalnih citokina iz mononuklearnih stanica ljudske periferne krvi (PBMC) koje su stimulirane LPS-om, dendriti kih stanica stimuliranih LPS-om i astrocita u kulturi aktiviranih IL-1. Istraživanje je dokazalo da luteolin ima pozitivan imunomodulatorni u inak na PBMC MS pacijenata. Smanjio je njihovu proliferaciju i proizvodnju nekih proupalnih medijatora koji su klju ni u MS patološkim procesima. Imunomodulatorni u inci luteolina su sli ni onome kod kvercetina, ali luteolin ima poja ane imunomodulatorne aktivnosti (Sternberg i sur, 2009).

**Kvercetin i luteolin** tako er inhibiraju izlu ivanje histamina, leukotriena i prostaglandina D<sub>2</sub>, kao i IL-6, IL-8, TNF- $\alpha$  i triptaze u kulturi humanih mastocita (Theoharides, 2009).

**Kvercetin** inhibira indukciju dendriti kih stanica i tako reducira proizvodnju proupalnih citokina/kemokina i razinu ekspresije MHC II i kostimulatornih molekula (Huang i sur, 2010).

**Flavoni apigenin i luteolin** su snažni inhibitori odgovora T stanica i produkcije IFN- $\gamma$ , dok su se fisitin, kvercetin, morin i hesperitin, lanovi flavonola i flavanona, pokazali neu inkovitima (Verbeek i sur, 2004).

**Kvercetin, apigenin i luteolin** pružaju potpunu zaštitu protiv oštećenja  $\beta$ -stanica citokinima. Inkubiranje s tim flavonoidima je rezultiralo značajnom redukcijom proizvodnje NO, koju induciraju IL-1 $\beta$  i IFN- $\gamma$ . Smatra se da je molekularni mehanizam kojim ti flavonoidi inhibiraju preko inhibicije aktivacije nuklearnog faktora  $\kappa$ B. Kvercetin, apigenin i luteolin također sprječavaju inhibiciju sekrecije inzulina pomoću IL-1 $\beta$  i IFN- $\gamma$  (Kim i sur, 2007).

**Miricetin** na sličan način blokira proizvodnju IL-12 u makrofagima stimuliranim lipopolisaharidom, vezanje na NF  $\kappa$ B mjesto je bilo inhibirano pri dodatku tog flavonoida i smanjila se proizvodnja IL-12 (Kang, 2005).

**Baikalin** je bioaktivni antiupalni flavon kojeg ima mnogo u biljci *Scutellaria baicalensis* Georgi. U istraživanju su se promatrali učinci sustavnog unosa tog flavona na eksperimentalni autoimuni encefalomijelitis (EAE) u miševa. Rezultati *in vivo* i *in vitro* su pokazali da baikalin smanjuje količinu IL-4 i proliferaciju mononuklearnih stanica, ovisno o koncentraciji. To indicira da bi baikalin mogao biti učinkovit u liječenju multiple skleroze (Zeng i sur, 2007).

Toksikan u inak superantigenskih stafilokoknih egzotoksina (SE) se zasniva na pretjeranom otpuštanju proupalnih citokina. Superantigeni poliklonalno aktiviraju veliku populaciju T stanica. **Baikalin** inhibira proliferaciju T limfocita koja je stimulirana sa SE, kao i produkciju IL-1, IL-6, TNF, IFN- $\gamma$ , MIP-1K i MIP-1L mRNA i proteina ljudskih mononuklearnih stanica u perifernoj krvi. Ti podaci indiciraju da bi baikalin mogao biti terapijski koristan u ublažavanju patogenih učinaka SE inhibicijom signalnih puteva koji su aktivirani superantigenom (Krakauer i sur, 2001).

Tijekom upale, bakterijski produkti i proupalni citokini induciraju nastajanje velikih količina NO pomoću inducibilne NO sintetaze. Tvari koje inhibiraju NO proizvodnju imaju protuupalni učinak. **Flavoni, izoflavoni daidzein i genistein, flavonoli izoramnetin, kempferol i kvercetin, flavanon naringenin i antocijanin pelargonidin** su inhibirali NO sintetazu i njegovu mRNA ekspresiju, pa i proizvodnju NO. Svih 8 aktivnih tvari su inhibirali nuklearni faktor  $\kappa$ B. Genistein, kempferol, kvercetin i daidzein su također inhibirali STAT-1, još jedan važan transkripcijski faktor. Ti rezultati djelomično objašnjavaju učinkovitost flavonoida kao protuupalnih tvari (Hämäläinen i sur, 2007).

Dijabetska retinopatija je povezana sa aktivacijom mikroglialnih stanica i povećanom razinom upalnih citokina. Pokazalo se da je **genistein** u inkovitu učinkovit u ublažavanju takve upale jer

me udjeluje sa upalnim signalnim putem (ERK i P38 MAPK) koji se pojavljuje u aktiviranim mikroglija stanicama (Ibrahim i sur, 2010).

Istraživanje je pokazalo da davanje biljnog iscjetka (koji sadrži i flavonoide **izokvercetin, kvercetin, luteoilin i apigenin**) sprjeva razvoj autoimunog dijabetesa u NOD miševa. Rezultati ukazuju na pomak  $T_H1/T_H2$  ravnoteže prema  $T_H2$  imunom odgovoru, koji štiti od razvoja dijabetesa (Weiss i sur, 2011).

Sjogren sindrom (SS) je relativno čest autoimuni poremećaj. Najbitnije obilježje je limfocitna infiltracija žlijezda slinovnica i uništavanje njihove funkcije. Današnja obrada reducira simptome ali ne može spriječiti štetu na žlijezdama. U NOD miševa, unos iscjetka zelenog čaja (u kojem su mnogi polifenoli, uključuju i flavonoide) je reducira razinu autoantitijela u serumu, kao i infiltraciju limfocita. Također, štite normalne slinske stanice od TNF- $\alpha$  citotoksičnosti. Zaštita je povezana sa fosforilacijom p38 MAPK (Hsu i sur, 2007).

**Apigenin** inhibira prezentiranje autoantigena i stimulatorne funkcije APC-a potrebne za aktivaciju i ekspanziju autoreaktivnih  $T_H1$  i  $T_H17$  stanica i B stanica u lupusu. On također izaziva apoptozu hiperaktivnih APC u lupusu, kao i T i B limfocita. Vjerojatni mehanizam je inhibicija ekspresije NF  $\kappa$ B koji regulira anti-apoptotične molekule. To pokazuje da bi apigenin mogao biti koristan za supresiju upale u lupusu i drugih bolesti posredovanih  $T_H17$ , kao što su reumatoidni artritis i psorijaza (Kang i sur, 2009).

## 8.2 Negativan učinak

Istraživao se utjecaj oralnih flavonoida na reaktivnost autoimunih T stanica u miševa i razvoj EAE-a, modela za multiplu sklerozu. I luteolin i apigenin su suprimirali proliferativni odgovor, dok je proizvodnja IFN- $\gamma$  bila povećana. U studiji flavonoida na EAE promatrani su koriste i pasivni prijenos autoimunih T stanica ili aktivnu indukciju bolesti. U pasivnom EAE-u, flavonoidi su doveli do produženog vremena oporavka od kliničkih simptoma bolesti. U aktivnom EAE-u, učinci su bili manje izraženi ali su flavonoidi također produžili oporavak. Ti rezultati indiciraju da oralni flavonoidi nemaju pozitivan učinak na tijek prisutnog EAE-a u miševa, nego suprotno, otežavaju oporavak od akutnog upalnog oštećenja (Verbeek i sur, 2005).

## 9. Zaključak

Autoimune bolesti su jako heterogena skupina bolesti koja obuhvaća više od 80 različitih sindroma. Njihova etiologija, mehanizmi nastanka, kao i manifestacija bolesti je raznolika. S obzirom da se u moderno doba bilježi porast tih bolesti, jako je bitno imati što više saznanja o njima da se mogu pokušati spriječiti, a kod razvoja bolesti što u inkovitije liječiti. Trenutni načini liječenja su raznoliki, ali je još uvijek najčešći pristup opća imunosupresija, koja reducira simptome bolesti, ali ne zaustavlja bolest i loše djeluje na cijeli organizam jer oslabljuje i normalni imunološki odgovor. Od velike je važnosti pronalazak specifičnih načina liječenja, koji ciljano inhibira bolest, a ne dira ostatak organizma. Još od davnih vremena, mnoge bolesti su se liječile biljnim pripravcima. I danas oni otvaraju mnoge mogućnosti. Ta, „alternativna“ medicina je predmet mnogih istraživanja, pa tako i autoimunih, jer je primijenjen pozitivan učinak na mnoge bolesti, bilo putem specifične prehrane, bilo putem uzimanja dodataka u vidu biljnih pripravaka. Bitno je da se svi ti aktivni spojevi istražuju u kontroliranim uvjetima i utvrde točni mehanizmi njihovog djelovanja, tako da se u liječenju određenih bolesti mogu primijeniti oni koji imaju najveći i uopće i najbolje rezultate. Flavonoidi su pokazali svoj veliki potencijal. S obzirom na njihov jako velik broj (preko 8000) i mnoštvo mehanizama djelovanja, teško je uopće organizirano istraživati. U radu su pokazani neki primjeri istraživanja pojedinih flavonoida, i njihov učinak. Velika većina pokazuje uspješnu inhibiciju razvoja bolesti, i postoji nekoliko različitih mehanizama djelovanja. Ipak, zabilježen je i negativan utjecaj flavonoida.

## 10. Literatura

1. Andreis, I., Batini D., ulo F., Gr evi D., Maruši M., Taradi M., Višnji D. (2004):  
Imunologija, šesto izdanje. Medicinska naklada, Zagreb
2. Block, G. (1992): A role for antioxidants in reducing cancer risk. *Nutrition Review* 50,  
207–213.
3. Boik, J. (1996): *Cancer and natural medicine*, Oregon Medical Press, Princeton
4. Cook, N.C., Samman, S. (1996): Flavonoids-Chemistry, metabolism, cardioprotective  
effects, and dietary sources. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 7(2): 66-76
5. Cooper, G.S., Bynum, M.L.K., Somers, E.C. (2009): Recent Insights in the Epidemiology  
of Autoimmune Diseases: Improved Prevalence Estimates and Understanding of  
Clustering of Diseases. *Journal of Autoimmunity* 33(3-4): 197–207.
6. Di Carlo, G., Mascolo, N., Izzo, A.A., Capasso, F. (1999): Flavonoids: Old and new  
aspects of a class of natural therapeutic drugs. *Life Sciences* 65(4): 337-353
7. Hämäläinen M., Nieminen R., Vuorela P., Heinonen M., Moilanen E. (2007): Anti-  
inflammatory effects of flavonoids: genistein, kaempferol, quercetin, and daidzein  
inhibit STAT-1 and NF-kappaB activations, whereas flavone, isorhamnetin,  
naringenin, and pelargonidin inhibit only NF-kappaB activation along with their  
inhibitory effect on iNOS expression and NO production in activated macrophages.  
*Mediators of Inflammation* 45:673
8. Hsu S.D., Dickinson D.P., Qin H., Borke J., Ogbureke K.U., Winger J.N., Camba A.M.,  
Bollag W.B., Stöppler H.J., Sharawy M.M., Schuster G.S. (2007): Green tea  
polyphenols reduce autoimmune symptoms in a murine model for human Sjogren's  
syndrome and protect human salivary acinar cells from TNF-alpha-induced  
cytotoxicity. *Autoimmunity* 40(2):138-47.
9. Huang R.Y., Yu Y.L., Cheng W.C., OuYang C.N., Fu E., Chu C.L. (2010):  
Immunosuppressive effect of quercetin on dendritic cell activation and function.  
*Journal of immunology* 184(12):6815-21
10. Ibrahim, A.S., El-Shishtawy, M.M., Peña Jr., A., Liou, G.I. (2010): Genistein attenuates  
retinal inflammation associated with diabetes by targeting of microglial activation.  
*Molecular Vision* 16:2033-2042
11. Kandaswami, C. and Middleton, E. (1994): Free radical scavenging and antioxidant  
activity of plant flavonoids. *Free Radicals in Diagnostic Medicine* 366, 351–376.

12. Kang H.K., Ecklund D., Liu M., Datta S.K.(2009): Apigenin, a non-mutagenic dietary flavonoid, suppresses lupus by inhibiting autoantigen presentation for expansion of autoreactive Th1 and Th17 cells. *Arthritis research and therapy*11(2):R59
13. Kang B.Y., Kim S.H., Cho D., Kim T.S (2005): Inhibition of interleukin-12 production in mouse macrophages via decreased nuclear factor- $\kappa$ B DNA binding activity by myricetin, a naturally occurring flavonoid. *Archives of Pharmacal Research* 28(3):274-9
14. Kim E.K., Kwon K.B., Song M.Y., Han M.J., Lee J.H., Lee Y.R., Lee J.H., Ryu D.G., Park B.H., Park J.W. (2007): Flavonoids protect against cytokine-induced pancreatic beta-cell damage through suppression of nuclear factor  $\kappa$ B activation. *Pancreas* 35(4): 293-440 (e1-e9)
15. Kindt, T. J., Osborne B.A., Goldsby, R.A. (2003): *Kuby Immunology*, Fifth edition. W.H. Freeman
16. Krakauer, T., Li, B.Q., Young, H.A. (2001): The Flavonoid baicalin inhibits superantigen-induced inflammatory cytokines and chemokines. *FEBS Letters* 500:52-55
17. Lambert J.D., Yang C.S.,(2003): Mechanisms of cancer prevention by tea constituents. *The Journal of Nutrition* 133(10):3262-3267
18. Lettre, G., Rioux, J.D. (2008): Autoimmune diseases: insights from genome-wide association studies. *Human Molecular Genetics* 17 (R2): R116-R121
19. Manach C., Williamson G., Morand C., Scalbert A., Rémésy C. (2005): Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition* 81(1):230-242
20. Middleton E. Jr, Kandaswami C. (1992): Effects of flavonoids on immune and inflammatory cell functions. *Biochemical Pharmacology* 43(6):1167-79.
21. Miller FW (2011): Environmental agents and autoimmune diseases, 711:61-81
22. Nakagami, T., Nanaumi-Tamura, N., Toyomura, K., Nakamura, T. and Shigehisa, T. (1995): Dietary Flavonoids as Potential Natural Biological Response Modifiers Affecting the Autoimmune System. *Journal of Food Science*, 60(4): 653–656.
23. Quan, L., Thiele, G.M., Wang, D. (2008): The Development of Novel Therapies for Rheumatoid Arthritis. *Expert Opinion on Therapeutic Patents* 18(7): 723–738
24. Roitt, I. M., Delves, P.J. (2001): *Roitt's essential immunology*, 10th edition. Blackwell Science Ltd
25. Sternberg, Z., Chadha, K., Lieberman, A., Drake, A., Hojnacki, D., Weinstock-Guttman, B., Munschauer, F. (2009): Immunomodulatory responses of peripheral blood

- mononuclear cells from multiple sclerosis patients upon in vitro incubation with the flavonoid luteolin: additive effects of IFN-g. *Journal of Neuroinflammation*, 6:28
26. Theoharides, T.C. (2009): Luteolin as a therapeutic option for multiple sclerosis. *Journal of Neuroinflammation* , 6:29
27. Vauzour, D., Vafeiadou, K., Rodriguez-Mateos, A., Spencer J.P.E. (2008): The neuroprotective potential of flavonoids: a multiplicity of effects. *Genes & Nutrition*; 3(3-4): 115–126.
28. Verbeek, R., van Tol, E.A.F., van Noort, J.M. (2005): Oral flavonoids delay recovery from experimental autoimmune encephalomyelitis in SJL mice. *Biochemical Pharmacology* 70 :220–228
29. Verbeek R., Plomp A.C., van Tol E.A., van Noort J.M. (2004): The flavones luteolin and apigenin inhibit in vitro antigen-specific proliferation and interferon-gamma production by murine and human autoimmune T cells. *Biochemical Pharmacology* 68(4):621-9
30. Weiss, L., Barak, V., Raz, I., Or, R., Slavin, S., Ginsburg, I. (2011): Herbal flavonoids inhibit the development of autoimmune diabetes in NOD mice: proposed mechanisms of action in the example of PADMA 28. *Alternative medicine studies*
31. Williams R.J., Spencer J.P., Rice-Evans C. (2004): Flavonoids: antioxidants or signalling molecules? *Free Radical Biology and Medicine*. 36(7):838-849
32. Zeng Y., Song C., Ding X., Ji X., Yi L., Zhu K. (2007): Baicalin reduces the severity of experimental autoimmune encephalomyelitis. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 40(7):1003-10

<http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/phytochemicals/flavonoids/>

## 11. Sažetak

Autoimune bolesti su bolesti u kojima organizam umjesto napadanja stranih antigena napada vlastite. Jako su raznolike, imaju složene mehanizme nastanka i imbenike koje utječu na njih. Općenito se mogu podijeliti na organospecifične i organonespecifične, ovisno o broju napadnutih organa. Njihovo liječenje danas se uglavnom bazira na općoj imunosupresiji koja reducira simptome, ali ne liječi bolest. Osim toga, ima negativne nuspojave jer inhibiraju i zdravi imunski odgovor. Potreban je učinkovitiji i specifičiji način liječenja. Flavonoidi su skupina fenolnih spojeva iz biljaka koji su se pokazali učinkoviti u inkovitima u njihovom liječenju. U ovom radu su obrađene autoimune bolesti i flavonoidi kao mogući spojevi u obradi autoimunih bolesti. Mnoga istraživanja su dokazala pozitivan učinak flavonoida na autoimunost što znači da bi se mogli koristiti kao terapija, a i putem prehrane kao prevencija.

## 12. Summary

Autoimmune diseases are diseases that develop when immune system attacks its own cells (autoantigen) instead of foreign antigen. They are very heterogeneous, have complicated mechanisms of development and factors that affect them. Diseases can be divided in organ-specific and systemic, depending on number of attacked organs. The treatment of autoimmune diseases is based on immunosuppression, which reduces the symptoms, but it doesn't cure the disease. Besides, this medication has negative side effects because it also decreases normal immune response. More efficient and specific treatment is needed. Flavonoids are group of polyphenolic compounds from plants, and they seem to be effective in treatment of autoimmunity. In this work, the most important facts about autoimmune diseases are shown, together with flavonoids as possible treatment. Many studies have proven positive effects of flavonoids on autoimmunity which means they could be used as a treatment, but also as a prevention, in diet.