

TALLINNA TERVISHOIU KÕRGKOO



Meditsiinitehnilise hariduse keskus

Farmatseudi õppekava

Jekaterina Kamõševa

**VITAMIINIDE JA TOIDULISANDITE MÕJU VANANEMISE PROTSESSIDE
A EGLUSTAMISELE**

Lõputöö

Tallinn 2026

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödest, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Luban Tallinna Tervishoiu Kõrgkoolil avalikustada oma lõputöö PDF-versiooni raamatukoguprogrammis.

Lõputöö autori allkiri

/allkirjastatud digitaalselt/

/kuupäev digitaalallkirjas/

Juhendajad: Catri Valner, MSc ja Laine Parts, MSc

/allkirjastatud digitaalselt/

/kuupäev digitaalallkirjas/

KOKKUVÕTE

Jekaterina Kamõševa (2026). Tallinna Tervishoiu Kõrgkool, meditsiinitehnilise hariduse keskus, farmatseudi õppekava. Vitamiinide ja toidulisandite mõju vananemise protsesside aeglustamisele. Lõputöös on 29 lehekülge, 31 kirjandusallikat ja 2 lisa.

Lõputöö eesmärgiks oli selgitada vananemisega seotud olulisemaid bioloogilisi protsesse ning analüüsida vitamiinide, bioaktiivsete ühendite, oomega-3-rasvhapete ja piimhappebakterite mõju vananemisega seotud bioloogilistele mehhanismidele, esitades tõendus põhised soovitused nende kasutamiseks vananemise kontekstis. Lõputöö tugineb teadusartiklite ja tõendus põhiste materjalide analüüsile, mis pärinevad aastatest 2016-2026.

Uurimisülesannete täitmisel jõuti järelduseni, et vananemisprotsessidega kaasnevad bioloogilised muutused moodustavad omavahel seotud mehhanismide süsteemi. Püsiv madala intensiivsusega põletik ja immuunsüsteemi vananemine võimendavad üksteist ning suurendavad organismi vastuvõtlikkust vanusega seotud haigustele. Epigeneetilised muutused, mida mõjutavad toitumine, stress ja eluviis, süvendavad rakkude funktsiooni langust ning loovad aluse vanusega seotud haiguste kujunemisele.

D-vitamiini puhul ilmnes U-kujuline seos vitamiini taseme ja telomeeride pikkuse vahel - nii puudus kui ka liigtarbimine võivad olla kahjulikud. C-vitamiini suurem tarbimine toetab telomeeride stabiilsust, kuid kõrged annused võivad avaldada pro-oksüdatiivset toimet. E-vitamiin võib vähendada põletikku ja oksüdatiivset stressi, kuid tõendusmaterjal on ebaühtlane. Resveratrooli lai toimespekter vajab täiendavaid kliinilisi tõendeid ning lükopeeni biosaadavus on suurem kuumtöödeldud tomatitoodetest kui värsketest tomatitest. Oomega-3 rasvhapete biosaadavus sõltub nende vormist - toidulisandites esinev etüülestri vorm imendub ajukoosse väiksema biosaadavusega, kui toidust saadavad triglütseriidide või fosfolipiidide vormid. Probiotikumide efektiivsus on tüvespetsiifiline - mõned tüved vähendasid põletikumarkereid, samas kui teised ei avaldanud olulist mõju immuunmarkeritele.

Võtmesõnad: vananemine, tervislik vananemine, oksüdatiivne stress, vabad radikaalid, telomeer, epigeneetilised faktorid, rakkude senestsents

SUMMARY

Jekaterina Kamõševa (2026). Tallinn Health University of Applied Sciences. Medical Technology Education Center, Curriculum of an Assistant Pharmacist. The effect of vitamins and dietary supplements on slowing aging processes. The thesis contains 29 pages, 31 references and 2 appendices.

The aim of this thesis was to explain the most important biological processes associated with aging and to analyze the effects of vitamins, bioactive compounds, omega-3 fatty acids and lactic acid bacteria on the biological mechanisms associated with aging, presenting evidence-based recommendations for their use in the context of aging. The thesis is based on the analysis of scientific articles and evidence-based materials from the years 2016–2026.

In fulfilling the research tasks, it was concluded that the biological changes accompanying aging processes form a system of interconnected mechanisms. Persistent low-grade inflammation and immunosenescence amplify each other and increase the organism's susceptibility to age-related diseases. Epigenetic changes, influenced by diet, stress and lifestyle, deepen the decline in cellular function and create the basis for the development of age-related diseases.

In the case of vitamin D, a U-shaped association was found between vitamin D levels and telomere length - both deficiency and excessive consumption can be harmful. Higher vitamin C intake supports telomere stability, but high doses may exert a pro-oxidative effect. Vitamin E may reduce inflammation and oxidative stress, but the evidence is heterogeneous. The broad spectrum of action of resveratrol requires further clinical evidence, and the bioavailability of lycopene is greater from heat-processed tomato products than from fresh tomatoes. The bioavailability of omega-3 fatty acids depends on their form - the ethyl ester form found in dietary supplements has lower bioavailability in brain tissue than the triglyceride or phospholipid forms obtained from food. The efficacy of probiotics is strain-specific - some strains reduced inflammatory markers, while others had no significant effect on immune markers.

Keywords: aging, healthy aging, oxidative stress, free radicals, telomere, epigenetic factors, cellular senescence

SISUKORD

KOKKUVÕTE.....	3
SUMMARY	4
SISSEJUHATUS.....	6
1. METOODIKA	9
1.1. Kirjandusallikate kogumise ja analüüsi protsess.....	9
1.2. Kirjandusallikate otsingustrateegia	10
1.3. Eetika ja usaldusväärus.....	10
2. VANANEMIST MÕJUTAVAD BIOLOOGILISED PROTSESSID	11
2.1. Vananemine, immuunsüsteemi muutused ja krooniline põletik	11
2.2. Vananemise epigeneetilised mõjutegurid.....	12
3. VITAMIINID, ANTIOKSÜDANTSIED ÜHENDID JA TOIDULISANDID VANANEMISE KONTEKSTIS.....	14
3.1. D-vitamiin	14
3.2. C-vitamiin.....	15
3.3. E-vitamiin.....	16
3.4. Resveratrool ja lükopeen.....	16
3.5. Oomega-3 rasvhapped ja vananemisega seotud terviseriskid	17
3.6. Piimhappebakterid, soolestiku mikrobioota ja tervislik vananemine.....	18
4. VITAMIINIDE JA TOIDULISANDITE OHUTUS JA TÕENDUSPÕHISED SOOVITUSED VANEMAEALISTE KONTEKSTIS	21
4.1. Vitamiinide ja toidulisandite soovituslikud annused ja ohutuspiirid.....	21
5. ARUTELU.....	23
JÄRELDUSED.....	26
KASUTATUD KIRJANDUS	27

LISAD:

LISA 1. Inflammaging molekulaarsel, rakulisel ja elundite tasemel.

LISA 2. Ülevaade vananemise ajal toimuvatest epigeneetilistest muutustest.

SISSEJUHATUS

Vananemise käigus toimuvad organismis järk-järgulised muutused, mis vähendavad rakkude ja kudede vastupanuvõimet ning muudavad need tundlikumaks nii sisemiste kui väliste tegurite suhtes. Selle tulemusena süvenevad oksüdatiivne stress ja põletik, suureneb rakkude kahjustus ning kahjustuvad elundite struktuur ja talitus. Need protsessid suurendavad omakorda vanusega seotud haiguste, nagu neurodegeneratiivsed ja südame-veresoonkonna haigused, sarkopeenia, diabeet, rasvumine ja pahaloomulised kasvaja. (Zhou et al., 2021).

Uurimustes pööratakse üha enam tähelepanu vananemiskiirust mõjutavatele teguritele, sealhulgas organismi reaktsiooni erinevatele stressoritele; immuunsüsteemi talitlusele, rakkude vananemisele, makromolekulide (valgud ja lipiidid) kahjustusele näiteks oksüdatiivse stressi põhjustatud kahjustusele ning valkude kvaliteedikontrollile (proteostaas). Uuringud geenide ja epigeneetiliste mehhanismide kohta, mis on seotud vananemisprotsesside, pikaajalise ja vanusega seotud haigustega, samuti geenide ja keskkonnategurite koostoime uurimine aitab paremini mõista vanusega seotud haiguste kujunemist ja vastuvõtlikkust nendele haigustele. (National Institute of Aging, 2020).

Vananemisega kaasnevaks muutuseks on sageli toitainete omastamise vähenemine. Seda võivad mõjutada teatud ravimid, mistõttu muutub toidulisandite, sealhulgas vitamiinide C ja D, antioksüdantide ja polüküllastumata rasvhapete roll üha olulisemaks. Näiteks vanemas eas väheneb sageli D-vitamiini süntees nahas, mistõttu toidulisandite kasutamine on oluline eakate tervise kaitsmiseks. Samuti ei pruugi tavaline toitumine sisaldada piisavas koguses omega-3 polüküllastumata rasvhappeid, mistõttu soovitatakse tarbida rasvast kala, näiteks tuunikala või lõhe, kaks korda nädalas või vajadusel kasutada kalamaksaõli kapsleid. (Fekete et al., 2023).

Uurimisprobleem:

Maailma elanikkond vananeb kiiresti, aga inimesed elavad tänapäeval oluliselt kauem kui varasematel kümnenditel. Prognooside järgi kasvab üle 60-aastaste inimeste osakaal aastatel 2015–2050 peaaegu kahekordseks, tõustes 12%-lt 22%-ni. Selline muutus ühiskonnas tähendab, et pikenenud eluiga pakub küll uusi võimalusi, kuid toob samal ajal kaasa ka mitmeid väljakutseid nii üksikisikute kui ka tervishoiu- ja sotsiaalsüsteemi jaoks. Kuigi eluaja pikendamist peetakse suureks saavutuseks, ei ole sama tendentsi näha tervena elatud aastate

puhul, mis rõhutab vajadust süvendada arusaamist tervislikust vananemisest ning teguritest, mis aitavad säilitada hea tervise ka vanemas eas. (Zhu et al., 2018).

Lõputöö eesmärk ja ülesanded on:

Lõputöö **eesmärk** on uurida valitud vitamiinide ja toidulisandite mõju vananemisega seotud bioloogilistele protsessidele.

Eesmärgist lähtuvalt on püstitatud järgmised lõputöö **ülesanded**:

- Kirjeldada vananemisega seotud peamisi bioloogilisi muutusi.
- Analüüsida valitud vitamiinide ja toidulisandite mõju vananemisega seotud bioloogilistele mehhanismidele ja tervisenäitajatele.
- Esitada tõenduspõhised soovitusel valitud vitamiinide ja toidulisandite kasutamiseks vananemisega seotud protsesside kontekstis.

Kesksed mõisted:

- **Vananemine** (*aging*) - “toimub raku, elundis või kogu organismis aja jooksul. See on protsess, mis kestab kogu elusolendi täiskasvanueas.” (Guarente et al., 2023).
- **Tervislik vananemine** (*healthy aging*) - “protsess, mille käigus arendatakse ja säilitatakse funktsionaalset võimekust, mis võimaldab heaolu vanemas eas.” (Healthy aging..., 2020).
- **Oksüdatiivne stress** (*oxidative stress*) - „Seisund, mis võib tekkida siis, kui organismis on liiga palju ebastabiilseid molekule ehk vabu radikaale ning antioksidante ei ole piisavalt, et neid neutraliseerida.“ (Definition of Oxidative Stress - NCI Dictionary of Cancer Terms - NCI, n.d.).
- **Vabad radikaalid** (*free radicals*) - “...võivad rakkudesse kuhjuda ja kahjustada teisi molekule, nagu DNA-d, lipiide ja valke.“ (Definition of Oxidative Stress - NCI Dictionary of Cancer Terms - NCI, n.d.).
- **Telomeer** (*telomere*) - „moodustavad kaitseotsad rakkudes paiknevate geenikandvate kromosoomide pikkadel ahelatel. Telomeeride pikkust peetakse üheks bioloogilise vananemise näitajaks“ (Zarei et al., 2021).
- **Epigeneetilised faktorid** (*epigenetic factors*) - „Levinumad epigeneetilised muutused vananemisel hõlmavad DNA metüülimist, kromatiini ümberkorraldamist ning

geeniexpressiooni regulatsiooni mittekodeerivate RNA-de (ncRNA) kaudu.“ (Ekowati & Milas Siswanto, 2024).

- **Rakkude senestsents** (*cellular senescence*) - „Stabiilne rakutsükli peatumine, mida võivad käivitada normaalsetes rakkudes erinevad sisemised ja välimised stiimulid. Võib kahjustada kudede regeneratsiooni, aidates seeläbi kaasa vananemisele. (Kumari et al, 2021).

1. METOODIKA

1.1. Kirjandusallikate kogumise ja analüüsi protsess

Lõputöö on koostatud teoreetilise uurimusena, mis põhineb erialase tõenduspõhise kirjanduse ülevaatel ja analüüsil. Kirjanduse ülevaate eesmärk on anda ülevaade valitud vitamiinide ja toidulisandite mõjust vananemisprotsessidele inimese organismis ning koondada ja süstematiseerida olemasolev teaduslik info.

Kirjandusallikate valiku kriteeriumiteks olid aja- ja asjakohasus, tõenduspõhisus ning usaldusväärsus. Kirjandusallikate otsingu piiranguteks seati ilmumisaasta, keel, täisteksti olemasolu ning vastavus lõputöö eesmärgile ja uurimisülesannetele. Ajakohase info tagamiseks kasutati viimase kümne aasta jooksul avaldatud teadusartikleid. Töös kasutati eelkõige ülevaateartikleid ja uuringuid, mis käsitlevad vitamiinide ja toidulisandite rolli vananemisprotsessides inimorganismis ning tervisliku vananemise toetamisel. Lõputöös kasutatud teadusartiklid olid avaldatud eriala teadusajakirjades ning autoriteks olid vastava valdkonna spetsialistid. Lõputöös on kasutatud inglisekeelseid allikaid.

Töö eesmärgist ja uurimisülesannetest lähtudes töötati läbi sobivad kirjandusallikad ning analüüsiti neist saadud andmeid. Kirjandusallikate valimisel hinnati esmalt artiklite pealkirju ja kokkuvõtteid ning sobivuse korral analüüsiti allikate täistekste. Analüüsi käigus võrreldi erinevate uuringute tulemusi ning pöörati tähelepanu sellele, millist mõju avaldavad vitamiinid ja toidulisandid vananemisega seotud protsessidele ning millised mehhanismid on nende mõjuga seotud. Samuti hinnati uuringute usaldusväärsust, võttes arvesse nende metoodikat ja valimi suurust.

Kirjandusallikate hulgast jäeti välja artiklid, mis ei käsitlenud inimeste uuringuid. Valitud metoodika võimalikeks puudusteks on see, et erinevate uuringute tulemused võivad olla vastuolulised ning uuringute kvaliteet võib erineda. Nende puuduste vähendamiseks kasutati mitmeid erinevaid allikaid ning võrreldi erinevate autorite seisukohti ja uurimistulemusi.

1.2. Kirjandusallikate otsingustrateegia

Kirjandusallikate otsimiseks kasutati andmebaase *Google Scholar*, *PubMed* ja *ScienceDirect*. Lisaks kasutati materjali leidmiseks otsingumootorit *Google*. Keeleliseks korrastamiseks ja artiklite tõlkimiseks kasutati tehisintellekti *ChatGPT* ja *Claude.ai*. Otsingusõnadena kasutati järgmisi märksõnu ja nende kombinatsioone: vananemine (*aging*), tervislik vananemine (*healthy aging*), vitamiinid ja vananemine (*vitamins and aging*), toidulisandid ja vananemine (*dietary supplements and aging*), mikrotoitained ja vananemine (*micronutrients and aging*), toitumine ja pikaelasticus (*nutrition and longevity*) ja antioksüdandid ja vananemine (*antioxidants and aging*). Antud sõnakombinatsioonide ja piirangutega leiti üle 20 000 artikli, millest lõputöö jaoks on läbi töötatud 40 ja kasutatud 31.

1.3. Eetika ja usaldusväärsus

Lõputöö usaldusväärset tagavad töös kasutatud tõenduspõhised kirjandusallikad. Töö koostamiseks on välja selekteeritud uurimisteamiga seotud kirjandus, mis on viimase kümne aasta jooksul ilmunud. Tekst on korrektselt refereeritud ning autoritele on viidatud. Kõik kirjandusallikad on kasutatud kirjanduses välja toodud. Lõputöö kirjutamisel on lähtutud Tallinna Tervishoiu Kõrgkooli kirjalike tööde koostamise ja vormistamise juhendist. Lõputöös ei esine plagiaati.

2. VANANEMIST MÕJUTAVAD BIOLOOGILISED PROTSESSID

2.1. Vananemine, immuunsüsteemi muutused ja krooniline põletik

Vananemine on keerukas, mitmeteguriline bioloogiline protsess, mis avaldub normaalse füsioloogilise funktsiooni järkjärgulise langusena. (Pal & Tyler, 2016). Maaelma elanikkonna vananemisega kaasneb vanusega seotud haiguste - nagu sarkopeenia, unehäired, kognitiivne langus, kuulmis- ja nägemismuutused - suurenev levik, mis vähendab eakate funktsionaalsust ja elukvaliteeti. (Kaufman et al., 2024). Samuti kaasneb suurenenud risk raskete haiguste, nagu vähk, südame-veresoonkonnahaigused ja dementsus, tekkeks - nende esinemissagedus kasvab märkimisväärselt pärast 50.–60. eluaastat. (Pagiatakis et al., 2019). Selle taustal on kasvanud huvi elustiilivalikute vastu, mis toetaksid tervislikku vananemist. Fuchs jt on defineerinud tervisliku vananemise kui seisundi, mida iseloomustab kõrge eani elamine, krooniliste haiguste puudumine, igapäevategevustes iseseisvus, hea elukvaliteet ja kõrge sotsiaalne osalemine. (Kaufman et al., 2024).

Immuunsüsteemi käsitletakse kui keerukat kaitsevõrgustikku, mille ülesandeks on hoida organismi tasakaalu ja kaitsta seda erinevate haigustekitajate eest. See hõlmab nii kaasasündinud kui ka omandatud immuunsust ning tugineb mitmekesisele rakkude, kudede ja elundite süsteemile, mis teeb omavahel koostööd nakkuste tõrjumisel ja haiguste ennetamisel. Kaasasündinud immuunsus tagab kiire esimese kaitse, samas kui omandatud immuunsus võimaldab määlul põhinevat reaktsiooni. Lisaks kaitsefunktsioonile osaleb immuunsüsteem regulatoorsetes protsessides, mis aitavad säilitada enesetaluvust ja ennetada autoimmuunhaiguste teket. Omandatud immuunsuse võime säilitada informatsiooni varasemate patogeenide kohta võimaldab tõhusamat reageerimist korduvate kokkupuudete korral. (Bodur et al., 2025). Põletiku ja immuunsuse seisukohalt on vananemine seotud inflammaginguga - kroonilise, madalatasemelisel põletikul põhineva nähtusega, mida peetakse vananemise üheks tunnusmärgiks. Kroonilise põletikku seostatakse rakkude senestsentsi, immuunfunktsiooni nõrgenemise, elundite kahjustuse ja vanusega seotud haiguste kujunemisega. Senestsentsed rakud toodavad bioloogiliselt aktiivseid ühendeid, mis võivad omakorda võimendada põletikku ning soodustada senestsentsi ka normaalsetes rakkudes. Krooniline põletik kiirendab samal ajal immuunrakkude vananemist, mis vähendab organismi võimet eemaldada vananenud rakke ja põletikumediaatoreid, tekitades nõiaringi põletiku ja raku vananemise vahel (vt joonis 1). Püsivalt kõrgeenenud põletikutase erinevates elundites

suurendab kahjustuste ja vanusega seotud haiguste riski, mistõttu peetakse põletiku vähendamist potentsiaalseks sihtmärgiks vananemisega seotud muutuste leevendamisel. (Li et al., 2023).

Immunosenestsentsi all mõistetakse immuunsüsteemi vananemisega kaasnevat muutusi, mille käigus immuunrakkude koosseis ja funktsionaalne aktiivsus järk-järgult nõrgenevad. Selline muutus vähendab organismi võimet reageerida nakkustele, halvendab vaktsiinidele vastamist ning on seotud suurema riskiga haigestuda erinevatesse vanusega seotud haigustesse. Vanemas eas kujuneb immuunsüsteemis välja ka inflammaging, mis süvendab immuunfunktsiooni langust ja kahjustab organismi üldist vastupanuvõimet. Selliste protsesside koosmõjul langeb keha suutlikkus säilitada tervislikku tasakaalu ning suureneb vastupanuvõime väliste ja sisemiste stressorite suhtes. (Wrona et al., 2024).

Vanemise käigus toimuvad olulised muutused ka lümfooidsetes elundites, eriti luuüdis ja tüümuses, mis vastutavad immuunrakkude tekke ja küpsemise eest. Nende elundite funktsiooni aeglane nõrgenemine vähendab organismi suutlikkust uuendada immuunrakkude varu. Lümfooidkoe senestsents soodustab immuunvananemist ning aitab kaasa põletikulise seisundi püsimisele, mis on iseloomulik vananemisega seotud kroonilisele põletikule. (Li et al., 2023).

2.2. Vanemise epigeneetilised mõjutegurid

Epigeneetika hõlmab mehhanisme, mis mõjutavad geeniekspressiooni ilma DNA järjestust muutmata. Epigeneetilisi protsesse võivad mõjutada nii organismis toimuvad füsioloogilised ja patoloogilised muutused kui ka erinevad keskkonnategurid, näiteks toitumine, stress, keheline aktiivsus, tööharjumused, suitsetamine ja alkoholi tarvitamine. (Pagiatakis et al., 2019). Vanemise käigus toimuvad erinevad epigeneetilised muutused, sealhulgas histoonide hulga vähenemine, DNA metülatsiooni ja histoonide modifikatsioonide muutused ning mittekodeerivate RNA-de ekspressiooni häired (vt joonis 2). Need muutused võivad mõjutada kromatiini struktuuri ja muuta geneetilise materjali kättesaadavust, mille tagajärjel võivad tekkida häired geeniekspressioonis ja genoomi stabiilsuses. (Pal & Tyler, 2016).

DNA metülatsioon on üks enim uuritud ja stabiilsemaid epigeneetilisi mehhanisme. Selle protsessi käigus lisandub DNA-le metüülrühm, mis võib mõjutada geenide aktiivsust. Tavaliselt on suurem metülatsioon seotud geenide aktiivsuse vähenemisega, samas kui väiksem metülatsioon võib soodustada geenide avaldumist. DNA metülatsioon mõjutab

geeniekspressiooni, muutes transkriptsioonifaktorite seondumist DNA-ga. Histoonide muutused võivad mõjutada geenide aktiivsust, kas soodustades või pärssides geeniekspressiooni. Need muutused toimuvad histoonvalkudes ning mõjutavad seda, kui tihedalt on DNA kromatiinis pakitud. Histoonide modifikatsioonide hulka kuuluvad näiteks atsetüülimine, metüleerimine, ubikvitinatsioon ja fosforüülimine, mida reguleerivad erinevad ensüümid. Mittekodeerivate RNA-dega seotud geenide regulatsioon on üks uuemaid epigeneetilisi mehhanisme. Kuigi ncRNA-d ei osale valkude sünteesis, on uuringud näidanud nende olulist rolli geeniekspressiooni reguleerimisel. Mittekodeerivad RNA-d mõjutavad muu hulgas DNA metülatsiooni, histoonide muutusi ja geenide vaigistamist. (Ostaiza-Cardenas et al., 2025).

Kehaline aktiivsus mõjutab olulisel määral epigenoomi ning regulaarset füüsilist aktiivsust on seostatud positiivsete muutustega DNA metülatsioonimustrites, mis toetavad ainevahetuslikku tervist ja vähendavad krooniliste haiguste riski. Uuringute kohaselt võib füüsiline aktiivsus epigeneetiliste mehhanismide kaudu mõjutada põletiku ja ainevahetusega seotud geenide ekspressiooni, aidates seeläbi kaasa paremale tervisele ja pikaajalisele. Samas on ebatervislikud eluviisid, sealhulgas suitsetamine ja liigne alkoholi tarvitamine, seotud kahjulike epigeneetiliste muutustega, mis võivad soodustada haiguste arengut ja progresseerumist. Lisaks võivad erinevad keskkonnategurid, näiteks saasteained ja psühhosotsiaalne stress, põhjustada olulisi epigeneetilisi muutusi. Uuringud on näidanud, et stress võib DNA metülatsiooni kaudu mõjutada stressireaktsioonidega seotud geenide aktiivsust, samal ajal kui keskkonnamürgid võivad häirida normaalset epigeneetilist regulatsiooni ning suurendada erinevate terviseprobleemide riski. Elustiili mõju epigeneetilistele muutustele peetakse oluliseks haiguste ennetamise ja tervise parandamise seisukohalt. (Ostaiza-Cardenas et al., 2025).

3. VITAMIINID, ANTIOKSÜDANTSED ÜHENDID JA TOIDULISANDID VANANEMISE KONTEKSTIS

3.1. D-vitamiin

D-vitamiini käsitletakse hormoonitaolise ühendina, mis osaleb rakkude kasvutsükli ja koepetsiifiliste funktsioonide reguleerimises. D-vitamiin osaleb mitmetes olulistes rakulistes protsessides, nagu rakkude diferentseerumine, proliferatsioon ja apoptoos, mistõttu on teadlased oletanud, et sellel võib olla roll telomeeride bioloogias ja genoomse stabiilsuse säilitamisel. Uuringud on näidanud, et kõrgem D-vitamiini tase veres on seotud pikemate leukotsüütide telomeeridega - eeldatavasti tänu D-vitamiini põletikuvastastele omadustele ja rakkude proliferatsiooni pärssivale toimele. On leitud, et D-vitamiinil võib olla roll telomeraasi aktiivsuse toetamisel ning seeläbi telomeeride stabiilsuse säilitamisel. (Zarei et al., 2021).

2023. aastal avaldati ajakirjas *Nutrients* uuring, mille viisid läbi Connecticuti ülikooli tervisekeskuse (University of Connecticut Health) teadlased. Uuringus analüüsiti andmeid 148 321 üle 60-aastaselt UK Biobanki osalejalt. Tulemused näitasid, et nii madal D-vitamiini tase veres (16,6–29,7 nmol/L) kui ka eriti madal tase ($\leq 16,6$ nmol/L) olid seotud lühemate telomeeridega võrreldes keskmise tasemega. Samuti ilmnas, et väga kõrge D-vitamiini tase ($>95,9$ nmol/L) oli seotud lühemate telomeeridega. Autorid tuvastasid seega leukotsüütide telomeeride pikkuse ja D-vitamiini taseme vahel ümberpööratud U-kujulise seose - optimaalne D-vitamiini tase oli seotud pikimate telomeeridega. Autorid märgivad, et täheldatud seos vajab edasist uurimist, kuna täpne mehhanism ei ole veel selge. (Kuo et al., 2023).

Shen jt (2026) meta-analüüs, mis hõlmas 21 uuringut ja kokku 185 191 osalejat, kinnitas positiivset seost seerumi D-vitamiini taseme ja leukotsüütide telomeeride pikkuse vahel. See seos ilmnas eelkõige naistel, täiskasvanutel ning D-vitamiini defitsiidiga isikutel, samas kui meestel ja piisava D-vitamiini tasemega osalejatel statistiliselt olulist seost ei tuvastatud. Autorid rõhutavad, et uuringute vahel esines märkimisväärne heterogeensus, mistõttu tuleb tulemusi tõlgendada ettevaatusega. (Shen et al., 2026).

3.2. C-vitamiin

C-vitamiin on üks olulisemaid vesilahustuvaid mikrotoitaineid, millel on keskne roll rakkude kaitsmisel oksüdatiivse stressi eest. Askorbiinhape ja selle oksüdeeritud vorm dehüdroaskorbiinhape toimivad mitmete ensüümide kofaktoritena ning toetavad organismi ainevahetuslikke ja koespetsiifilisi protsesse. Vabad radikaalid ja reaktiivsed hapnikuühendid võivad liigsel kogunemisel põhjustada oksüdatiivset stressi, mis soodustab krooniliste ja degeneratiivsete haiguste, sealhulgas vananemisega seotud muutuste teket. C-vitamiin neutraliseerib vabu radikaale, kaitseb lipiidmembraane ja valke oksüdatiivse kahjustuste eest. Samuti on käsitletud võimalust, et väga suurtes annustes võib askorbiinhappel olla pro-oksüdatiivne toime, mistõttu uuritakse selle rolli ka kasvajate bioloogias. (Alberts et al., 2025).

C-vitamiinil on oluline roll immuunsüsteemi töös, kuna see toetab nii kaasasündinud kui ka omandatud immuunsüsteemi funktsioone ning aitab kaitsta organismi põletikuliste reaktsioonide tagajärjel tekkitavate kahjustuste eest. C-vitamiin toetab barjäärifunktsiooni, monotsüütide ja makrofaagide funktsiooni ning toetab antikehade tootmist. (Eggersdorfer et al., 2022)

C-vitamiini tase veres on keskealistel ja eakatel madalam kui noorematel täiskasvanutel. Madalat taset on täheldatud ka selliste vanusega seotud haiguste korral nagu krooniline neeruhaigus ja krooniline obstruktiivne kopsuhaigus, mis viitab C-vitamiini rollile vanusega seotud patoloogilistes mehhanismides. (Sato et al., 2024).

C-vitamiini tarbimine on positiivselt seotud leukotsüütide telomeeride pikkusega - leiti, et suurem C-vitamiini tarbimine vastab pikematele telomeeridele ($\beta = 0,03$, 95 % CI: 0,01–0,05, $P = 0,003$). C-vitamiin aktiveerib telomeraasi aktiivsust, mis võimaldab lühenenud DNA järjestusi teatud määral taastada. Telomeraas pikendab telomeerset DNA-d ning takistab seeläbi telomeeride liigset lühenemist pärast rakkude jagunemist. Samas tuleb arvestada, et läbilõikelise uuringu iseloomu tõttu ei ole võimalik tõestada otsest põhjuslikku seost C-vitamiini tarbimise ja telomeeride pikkuse vahel. (Cai et al., 2023). Lisaks peetakse seniste uuringute oluliseks piiranguks pikaajaliste uuringute puudumist, mis hindaksid C-vitamiini tegelikku kontsentratsiooni veres, mitte ainult tarbimist toitumisküsimustike alusel. (Alberts et al., 2025).

3.3. E-vitamiin

E-vitamiin kuulub olulisemate rasvlahustuvate antioksidantide hulka, millel on tähtis roll rakkude kaitsmisel oksüdatiivsete kahjustuste eest. Bioloogiliselt kõige aktiivsem E-vitamiini vorm on α -tokoferool, mida käsitletakse ühendina, mis aitab säilitada rakumembraanide stabiilsust ja toetab immuunsüsteemi toimimist. Uuringud on näidanud, et E-vitamiin võib vähendada vabade radikaalide tekitatud kahjustusi. Samas juhitakse tähelepanu sellele, et toidulisandina kasutamise tõendusmaterjal on ebaühtlane ning tulemused sõltuvad annustest, populatsioonist ja uuringu kestusest. Vaatamata sellele peetakse E-vitamiini oluliseks antioksidatiivseks kaitsefaktoriks, mis aitab säilitada rakkude funktsionaalset terviklikkust ja organismi vastupanuvõimet oksüdatiivsele stressile. (Kaye et al., 2025).

E-vitamiini sisaldus organismis, mida mõjutavad nii igapäevane toitumine kui ka toidulisandite kasutamine, võib immuunsüsteemi ja põletikuprotsesse reguleerida mitmete mehhanismide kaudu. E-vitamiin osaleb muu hulgas signaaliülekanne regulatsioonis, aitab säilitada rakumembraanide stabiilsust, mõjutab rakutsüklit ning võib vähendada põletikumediaatorite tootmist. (Ciarcià et al., 2022).

3.4. Resveratrol ja lükopeen

Resveratrol on looduslik fenoolühend, mida leidub mitmetes taimsetes toiduainetes. Kõige rohkem on seda viinamarjades, maapähklites, mustikates ja punases veinis. Uuringutes on kirjeldatud resveratrooli laia toimespektrit, mille hulka kuuluvad antioksidatiivne ja põletikuvastane mõju ning samuti toime immuunsüsteemi, vererõhu ja lipiidide regulatsioonile. Need omadused selgitavad, miks resveratrooli on seostatud mitmete krooniliste haiguste, sealhulgas vähi, südame-veresoonkonna ja neurodegeneratiivsete haiguste ning rasvumise riski vähenemisega. Samuti on näidanud, et resveratrol toetab mitokondrite funktsiooni ja mõjutab rakusurma regulatsiooni, mis on olulised mehhanismid vananemise käigus. Viimastel aastatel on tähelepanu pälvinud ka resveratrooli koostoime soole mikrobiotaga. Seda peetakse üheks võimalikuks teguriks, mis võib selgitada resveratrooli tervist kaitsvat toimet. (Zhou et al., 2021).

Kuigi resveratroolil on näidanud potentsiaali vananemise pidurdamisel, on vaja rohkem tõenduspõhiseid uuringuid, eriti kliinilisi, et kinnitada selle tegelikku tõhusust ja ohutut

kasutusannust. Täiendavat selgitamist vajavad ka mehhanismid, mis on seotud soole mikrobiota mõjutamisega, ning võimalik sünergia teiste looduslike ühenditega. Samuti oleks oluline uurida resveratrolirikaste toiduainete rolli eluea ja tervisenäitajate parandamisel. (Zhou et al., 2021).

Lükopeeni peetakse oluliseks rasvlahustuvaks karotenoidiks, mida leidub eriti rohkelt tomatides. Uuringud on näidanud, et see ühend aitab vähendada oksüdatiivsest stressist põhjustatud ainevahetushäireid ning sellega seotud seisundeid, nagu rasvumine ja diabeet. Lükopeeni antioksüdatiivne potentsiaal on erakordselt tugev: selle võime neutraliseerida vabu hapnikuradikaale ületab märkimisväärselt nii β -karoteeni, α -tokoferooli kui ka glutatiooni oma. Oluline on märkida, et lükopeeni sisaldus võib olla erinev, sõltuvalt tomatite sortidest ning kasvutingimustest. (Shafe et al., 2024).

Tomatitoodete töötlemine võib oluliselt suurendada lükopeeni kontsentratsiooni, kuna vee eemaldumine muudab ühendi suhteliselt rikkalikumaks. Uuringutes on leitud ka, et kuumtöödeldud tomatitest pärit lükopeen on organismile paremini bioaadav kui värsketest tomatitest saadav. Tüüpiliseks näiteks tuuakse ketšup, milles lükopeeni sisaldus on 9,9-13,44 mg 100 grammi kohta, samas kui värsketes tomatites on lükopeeni sisaldus 0,88-7,44 mg 100 grammi kohta. (Bacanli et al., 2017).

3.5. Oomega-3 rasvhapped ja vananemisega seotud terviseriskid

Oomega-3-rasvhapped, sealhulgas EPA ja DHA, on olulised ühendid, mis mõjutavad immuunsüsteemi toimimist. EPA ja DHA mõjutavad immuunsüsteemi toimimist mitmete mehhanismide kaudu. Esiteks need inkorporeerivad rakumembraanidesse, muutes membraani voolavust ning soodustades membraanivalkude ümberkorraldumist, mis on oluline immuunrakkude signaalprotsesside jaoks. Selle tulemusena paraneb immuunrakkude omavaheline suhtlus ja reageerimisvõime infektsioonidele. Lisaks mõjutavad oomega-3 rasvhapped lipiidiparvede struktuuri ja talitlust. Lipiidiparved on kolesterooli ja sfingolipiidide rikkad membraani mikrodomeenid, mis on olulised rakusignaalide edastamisel ja immuunvastuste kujundamisel. Oomega-3 rasvhapete toimel võivad need struktuurid muutuda, mis mõjutab immuunrakkude, sealhulgas T-rakkude ja makrofaagide signaalivõimet. Selle tulemusena võib vähendada rakkude reaktsioon teatud mikroobsetele stiimulitele, kuid see mõju on selektiivne ega tähenda immuunsüsteemi üldist pärssimist. Pigem aitab see kaasa

tasakaalustatud immuunvastusele, võimaldades põletikuliste protsesside reguleerimist ilma organismi kaitsevõimet täielikult nõrgestamata. (Bodur et al., 2025).

Uuringute põhjal on oomega-3-rasvhapetel oluline roll vananemisega seotud ainevahetushäirete ennetamisel ja leevendamisel. Nende regulaarne tarbimine on seotud parema lipiiditaseme, rasvmaksahaiguse ja rasvumise vähenemisega ning soodsama mõjuga kognitiivsetele funktsioonidele ja südame-veresoonkonna tervisele. Tasakaalustatud oomega-6 ja oomega-3 suhe aitab hoida kontrolli all madala taseme kroonilist põletikku, mille süvenemist soodustavad sageli kaasaegsed toitumisharjumused ja vananemisega seotud oksüdatiivne stress. Kuigi põletikuvastane toitumine ei suuda juba tekkinud koekahjustusi pöörata, on leitud, et suurem oomega-3 tarbimine aitab vähendada kroonilise põletiku taset ja toetab immuunsüsteemi talitlust. Oomega-3 ja D-vitamiini kombinatsioon võib tugevdada nende ühendite immuunmoduleerivat mõju. Samas rõhutatakse, et toidulisanditest üksi ei piisa, kui samal ajal ei vähendata oomega-6-rikaste toitude tarbimist. Oomega-3 regulaarne kasutamine koos tervisliku toitumisega võib aidata säilitada homöostaasi, vähendada haigusriskide kujunemist ja toetada tervislikku vananemist. (Poggioli et al., 2023).

Oomega-3 rasvhapete võimalikku rolli kognitiivse languse aeglustamisel on uuritud nende põletikuvastaste omaduste tõttu. Uuringute tulemused on siiski vastuolulised: mõned viitavad kala tarbimisest saadava oomega-3 kasulikule mõjule kognitsioonile, teised leiavad, et tõendusmaterjal on ebapiisav. Bioloogiline seletus seisneb selles, et toidust saadavad oomega-3 rasvhapped triglütseriidide või fosfolipiidide kujul suudavad on ajukoes suurema bioaadavusega, samas kui toidulisandite etüülestri vorm on väiksema bioaadavusega. (Kaufman et al., 2024).

3.6. Piimhappebakterid, soolestiku mikrobiota ja tervislik vananemine

Mikrobiota muundab toidust saadavad toitained metaboliitideks, mis toimivad bioloogiliselt aktiivsete molekulidena, moduleerides peremeesorganismi reguloorseid funktsioone. (Chandrasekaran et al., 2024). Vanusega toimuvad märkimisväärsed muutused soolestiku mikrobiotas, mida seostatakse kroonilise põletiku, neurodegeneratsiooni, kognitiivse languse ning ainevahetushaiguste sagenemisega. Terve soolestiku mikrobiota on hädavajalik põletiku reguleerimiseks, infektsioonidele vastupanuvõimeks ning aju-soolestiku telje talitluseks. Vanusega väheneb kasulike mikroorganismide arvukus ning koguneb põletikulist koormust

suurendavaid liike, mis viib mikrobioota mitmekesisuse vähenemiseni. Soolestiku mikrobioota koosneb probiootilistest, kommensaalsetest ja patogeenseetest bakteritest. Eakatel (üle 65-aastastel) täheldatakse tavaliselt väiksemat mikrobioota mitmekesisust ja suuremat varieeruvust bakterikoosseisus. Seda iseloomustab kasulike bakterirühmade - nagu *Bifidobacterium*, *Bacteroidetes* ja *Blautia coccoides-Eubacterium rectale* - arvukuse vähenemine ning potentsiaalselt põletikulist koormust suurendavate *Enterobacteriaceae* osakaalu tõus. Sellised muutused võivad pikaajalise immuunsüsteemi stimulatsiooni kaudu soodustada põletiku kuhjumist ja immuunfunktsiooni langust, mida kirjeldatakse immuunvananemisena. Varasemad uuringud on viidanud, et mikrobioota koosseisu muutused sõltuvad vanusest vähem ning on tugevamalt seotud kroonilise põletikulise seisundiga, kusjuures olulist rolli mängivad põletikumediaatorid. See viitab sellele, et soolestiku mikrobioota ebatasakaal tuleneb sageli pigem kroonilisest põletikust, mitte ainult inimese vanusest. (Li et al., 2023).

Soolestiku mikrobioota muutused võivad suurendada eelsoodumust mitmete haiguste suhtes, nagu soolestiku põletik ja ainevahetushäired. Probiootikumid kui aktiivsed mikroorganismid mängivad mitmekülgsel rollil soolestiku mikrobioota koostise taastamisel, aidates parandada peremeesorganismi immuunsust ja ennetada soolestiku haigusseisundeid. (Chandrasekaran et al., 2024). Soolebarjäär on mitmekihiline süsteem, mis kaitseb organismi kahjulike ainete eest. See koosneb limanahast, epiteelkihist ja limaskestast immuunsüsteemist. Epiteelrakud on omavahel tihedalt seotud, takistades bakterite ja kahjulike ainete sattumist vereringesse. (Salazar et al., 2023). Probiootikumide mõju põhineb mitmel mehhanismil: nad võivad soodustada kasulike bakterite kasvu, normaliseerida mikrobioota tasakaalu, pärssida patogeenseid mikroobe, tugevdada soolebarjääri ning soodustada lühikese ahelaga rasvhapete teket. Soolestiku düsbioos on seotud mitmete ainevahetuslike, seedetrakti ja südame-veresoonkonna häiretega, ning probiootikumid võivad selliste seisundite korral toimida toidulisandina või täiendava ravivõimalusena, aidates nende mõjusid leevendada. (Chandrasekaran et al., 2024).

Randomiseeritud kontrollitud uuringus osalesid Ühendkuningriigi hooldekodu elanikud vanuses 67-97 aastat (keskmine vanus 86 aastat), kes said 12 kuu jooksul iga päev probiootikumide kombinatsiooni - *Lactocaseibacillus rhamnosus GG (LGG)* ja *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* BB-12 annuses $1,3-1,6 \times 10^9$ kolooniat moodustavat ühikut ehk CFU-d või platseebot. Mõlema tüve koloniseerimine soolestikus kinnitati väljaheiteproovide

analüüsiga. Sellegipoolest ei täheldatud probiootikumidel olulist mõju immuunrakkude arvule, põletikuga immuunmarkerite tasemele veres. (Castro-Herrera et al., 2021).

Peladic jt (2021) narratiivses ülevaates analüüsiti üheksat randomiseeritud kontrollitud uuringut, mis käsitleti probiootikumide mõju põletikulistele markeritele üle 65-aastatel tervetel inimestel. Mõnedes uuringutes täheldati positiivseid tulemusi: *Lactobacillus plantarum* CECT7315/7316 manustamine (5×10^8 – 5×10^9 CFU päevas) 12 nädala jooksul vähendas oluliselt TGF- β 1 (transformeeriv kasvufaktor-beeta-1) kontsentratsioone, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* 8481 vähendas IL-8 (interleukiin-8) taset ning *Lactobacillus gasseri* KS-13, *Bifidobacterium bifidum* G9-1 ja *Bifidobacterium longum* MM2 kombinatsioon suurendas IL-5 (interleukiin-5) ja IL-10 (interleukiin-10) taset. *Lactobacillus paracasei*, *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* BB-12 ja kuumtöödeldud *L. plantarum*'i kombinatsioon suurendas IFN- γ (interferoon-gamma) ja IL-12 (interleukiin-12) taset. Seevastu ei avaldanud *Bifidobacterium bifidum* ja *Lactobacillus acidophilus* kombinatsioon mõju TNF- α (tuumori nekroosifaktor-alfa) tasemele, *Lactobacillus casei* DN-114001 ei mõjutanud CRP (C-reaktiivne valk), IL-6 (interleukiin-6) ega TNF- α taset ning *Lactobacillus casei* Shirota ja *Bacillus coagulans* GBI-36 ei avaldanud olulist mõju CRP tasemele. Oluline on märkida, et probiootikumide mõju põletikulistele markeritele üle 65-aastastel tervetel inimestel on üldiselt piiratud, kuna uuringud on meetoodiliselt heterogeensed ning nende tulemused on omavahel võrreldamatud. (Jukic Peladic et al., 2021).

4. VITAMIINIDE JA TOIDULISANDITE OHUTUS JA TÕENDUSPÕHISED SOOVITUSED VANEMAEALISTE KONTEKSTIS

4.1. Vitamiinide ja toidulisandite soovituslikud annused ja ohutuspiirid

Vanemaealised tarbivad sageli vähem toitaineid ning füsioloogiliste muutuste tõttu võib toitainete imendumine olla häiritud, mis omakorda suurendab oluliste vitamiinide ja mineraalainete puuduse riski. Seetõttu peetakse oluliseks tagada eakatele võimalikult tasakaalustatud toitumine ning vajadusel kasutada toidulisandeid vajalikku toitainete tarbimise toetamiseks. Samas on oluline rõhutada, et toidulisandid ei saa asendada tasakaalustatud toitumist, vaid neid kasutatakse tervise toetamiseks. Tervishoiutöötajatele mõeldud juhised patsientide nõustamiseks toidulisandite kasutamise osas on praktiliselt olematud ning suurem osa informatsioonist toidulisandite kohta on leitav tootjate veebilehtedelt. Lisaks müüakse toidulisandeid peale apteeki veel kauplustes ja internetis, mis suurendab professionaalse farmatseutilise nõustamise puudumise probleemi. (Campos et al., 2024).

Kasulikke mikrotoitainete, sealhulgas D-vitamiini ebapiisav tarbimine vanemaealistel on sageli seotud alatoitumisega. Alatoitumine on seotud suurema ebasoodsate tervisetulemuste riskiga, samas kui parem toitumuslik seisund on seotud parema kognitiivse funktsiooni ja funktsionaalse võimekusega eakatel. Vanusega seotud füsioloogilised muutused võivad suurendada alatoitumise riski. Lisaks esineb sarkopeeniaga isikutel alatoitumist sagedamini. (Campos et al., 2024).

Vanemaealistel võib olla keeruline tagada piisav mikrotoitainete saamine ainult tasakaalustatud toitumuse kaudu. Seetõttu peetakse rikastatud toiduaineid ja toidulisandeid tõhusaks võimaluseks toitumusliku seisundi parandamisel ja immuunsüsteemi toetamisel. Vanemaealistel soovitatakse vajadusel täiendada toitumist mikrotoitainete kombinatsiooniga, eriti sellistega, millel on oluline roll immuunsüsteemi kaitsmises, nagu C-, D,- ja E-vitamiin ning EPA ja DHA.(Eggersdorfer et al., 2022).

Uuringute kohaselt aitab vähemalt 200 mg C-vitamiini päevas tagada piisava C-vitamiini taseme veres ning toetada immuunsüsteemi tööd. Tervete vanemaealiste jaoks soovitatakse vähemalt 200 mg C-vitamiini päevas, kuna sellist kogust seostatakse hingamisteede infektsioonide riski, raskusastme ja kestuse vähenemisega. Talutav ülemine tarbimismäär on 2000 mg päevas. (Eggersdorfer et al., 2022).

D-vitamiini igapäevast tarvitamist seostatakse ägedate hingamisteede infektsioonide riski vähenemisega. Vanemaealistel on D-vitamiini saamine toidust ja selle süntees organismis sageli ebapiisav. Tervete vanemaealiste jaoks soovitatakse 2000 rahvusvahelist ühikut ehk IU (50 mikrogrammi ehk μg) D-vitamiini päevas. Talutav ülemine tarbimismäär on 100 μg päevas. (Eggersdorfer et al., 2022).

D-vitamiini puudus on vanemaealiste seas seotud suurenenud luumurdude ja kukkumiste riskiga. Uuringud on näidanud, et D-vitamiini lisamine on kasulik eakatel, kellel D-vitamiini tase veres on alla 50 nmol/L, samas kui piisava D-vitamiini tasemega isikutel ei anna selle lisamine luumurdude ennetamisel tõenäoliselt kasu. Liigne D-vitamiini tarbimine (üle 100nmol/L) võib luumurdude riski hoopis suurendada. Kukkumise osas näitavad uuringud annusest sõltuvat toimet - annused alla 800 IU päevas ei vähenda kukkumiste riski, samas kui 800-1000 UI päevas vähendavad seda. Euroopa Osteoporoosi, Osteoartriidi ja Luu-lihassüsteemi Haiguste Kliiniliste ja Majanduslike Aspektide Seltsi (ESCEO) töörühm soovitab 1000 IU D-vitamiini päevas inimestele, kellel on suurenenud D-vitamiini defitsiidi risk ja märgib, et selline annus on ohutu. (Chevalley et al., 2022).

Praegused E-vitamiini soovitused ei pruugi olla piisavad vanusega seotud muutuste ja immuunsüsteemi tasakaaluhäirete kompenseerimiseks vanemaealistel. Täiendavat E-vitamiini tarvitamist seostatakse immuunsüsteemi toetamisega ning tervete vanemaealiste jaoks soovitatakse 200 IU päevas. Talutav ülemine tarbimismäär on 1000 mg päevas. (Eggersdorfer et al., 2022).

DHA ja EPA toetavad immuunsüsteemi normaalset toimimist ning aitavad kaasa põletikuliste protsesside reguleerimisele. Tervete vanemaealiste jaoks soovitatakse kuni 500 mg EPA ja DHA päevas. Talutava ülemise tarbimismäära ei ole teada. (Eggersdorfer et al., 2022). Kliinilised andmed oomega-3 kasutamise kohta on piiratud. (Ravimiomaduste kokkuvõte: Omacor..., 2024).

5. ARUTELU

Käesoleva lõputöö tulemused kinnitavad, et vananemine on keeruline ja mitmetasandiline bioloogiline protsess, mille kulgu mõjutavad omavahel seotud mehhanismid. Li jt. (2023) rõhutavad, et püsiv madala intensiivsusega põletik on tihedalt seotud immuunsüsteemi nõrgenemise ja vanusega seotud haiguste kujunemisega. Sarnasele järeldusele jõuavad ka Wrona jt. (2024), kelle hinnangul süvendab immunosenestsents kroonilist põletikku ning vähendab organismi vastupanuvõimet. Mõlema käsitluse põhjal võib järeldada, et vananemisega seotud muutused immuunsüsteemis ja põletikulised protsessid on omavahel tihedalt seotud ning moodustavad üksteist võimendava mehhanismi. Pal ja Tyler (2016) on oma ülevaates esile toonud, et epigeneetilised muutused võivad olla seotud paljude vanusega seotud haigustega. Pagiatakis jt. (2019) samuti rõhutavad, et vananemise käigus toimuvad epigeneetilised muutused võivad suurendada rakkude vastuvõtlikkust geeniekspressiooni häiretele, mis omakorda soodustavad vanusega seotud haiguste teket. Samuti toovad Pagiatakis jt. (2019) välja, et epigeneetilisi mehhanisme võivad tugevalt mõjutada ka välised tegurid, nagu toitumine, stress ja ebatervislik eluviis.

Vitamiinide ja bioaktiivsete ühendite mõju vananemisprotsessidele on palju uuritud, kuid konkreetseid soovitusi on vähe. D-vitamiini puhul tuvastasid Kuo jt (2023) U-kujulise seose vitamiini taseme ja telomeeride pikkuse vahel. See tähendab, et nii liiga madal (16,6–29,7 nmol/L), eriti madal tase ($\leq 16,6$ nmol/L) kui ka liiga kõrge ($>95,9$ nmol/L) D-vitamiini tase oli seotud lühemate telomeeridega. See viitab sellele, et D-vitamiini liigne tarbimine ei ole vananevale organismile kasulik. Shen jt (2026) meta-analüüs kinnitas positiivset seost D-vitamiini taseme ja telomeeride pikkuse vahel eelkõige naistel ja D-vitamiini defitsiidiga isikutel, kuid samas rõhutati uuringute heterogeensust. Lisaks telomeeride pikkusele on D-vitamiini puudus seotud ka luu-lihassüsteemi tervise halvenemisega. Chevalley jt. (2022) ESCEO tööühma analüüs näitab, et D-vitamiini lisamine annuses 800-1000 IU päevas vähendab luumurdude ja kukkumise riski eakatel, kellel on D-vitamiini tase veres on alla 50 nmol/L. Samas kui piisava D-vitamiini tasemega veres isikutel D-vitamiini lisatarbimine kasu ei anna. See rõhutab vajadust hinnata D-vitamiini taset inimesel enne toidulisandi soovitamist. C-vitamiini osas toovad Cai jt. (2023) välja seose suurema C-vitamiini tarbimise ja pikemate telomeeride vahel, seostades seda telomeraasi aktiivsuse toetamisega. Samas hoiatavad Alberts jt. (2025), et väga suurtes annustes võib askorbiinhappel olla pro-oksüdatiivne toime, mistõttu ei ole C-vitsmiini kõrgete annuste manustamine põhjendatud ilma meditsiiniliste näidustuseta.

E-vitamiini osas Ciarcia jt. (2022) märgivad, et E-vitamiin võib vähendada organismis põletikku. Kaye jt. (2025) märgivad, et E-vitamiin võib vähendada vabade radikaalide tekitatud kahjustusi, kuid samas juhivad nad tähelepanu sellele, et toidulisandina kasutamise tõendusmaterjal on ebähtlane.

Zhou jt. (2021) kirjeldavad resveratrooli laia toimespektrit ning hoiatavad, et hoolimata potentsiaalset on vajalikud täiendavad kliinilised uuringud, et hinnata pikaajalise kasutamise tõhusust ja ohutust ning selgitada koostoimeid, sealhulgas koostoime soole mikrobiotaga. Shafe jt. (2024) rõhutavad lükopeeni tugevat antioksüdatiivset potentsiaali ning osutavad, et selle sisaldus võib varieeruda sõltuvalt toiduallikast ja tomatite kasvutingimustest. Bacanali jt. (2017) toovad esile, et tomatitoodete töötlemine võib suurendada lükopeeni kontsentratsiooni ning kuumtöödeldud tomatitoodetest pärinev lükopeen võib olla paremini biosaadav kui värsketest tomatitest saadav.

Oomega-3 rasvhapete ja probiootikumide käsitlemisel tuleb arvestada sellega, et nende mõju avaldub eelkõige tervisliku ja tasakaalustatud toitumise kontekstis, mitte ainult toidulisandite manustamisel. Bodur jt. (2025) kirjeldavad oomega-3 rasvhapete mitmekülgseid mehhanisme - rakumembraanide voolavuse suurendamist, lipiidiparvede struktuuri muutmist ning T-rakkude ja makrofaagide signaalvõime mõjutamist. Antud mehhanismid toetavad tasakaalustatud immuunvastust ilma organismi kaitsevõimet nõrgestamata. Poggioli jt. (2023) täiendavad seda käsitlust tuues esile, et oomega-3 regulaarne tarbimine on seotud parema lipiiditaseme, väiksema rasvmaksahaiguste riskiga ning kroonilise põletiku taseme vähenemisega, kuid rõhutavad, et toidulisandid ei suuda kompenseerida ebatervisliku toitumise, sealhulgas liigselt oomega-6 rasvhappeid sisaldava dieedi, kahjulikku mõju. Kaufman jt. (2024) lisavad olulise tähelepaneku - toidulisandites esinev etüülestri vorm imendub ajukoosse väiksema biosaadavusega, kui toidust saadavad triglütseriidide või fosfolipiidide vormid. See selgitab, miks uuringute tulemused kala tarbimise ja toidulisandite mõju võrdlemisel on ebähtlased. Täiendava piiranguna tuleb märkida, et kliinilised andmed oomega-3 rasvhapete kohta üle 70-aastatel eakatel on piiratud, mida kinnitab ka oomega-3 rasvhappeid sisaldava ravimi Omacor ravimi omaduste kokkuvõte.

Probiootikumide rolli hindamisel vananemise kontekstis on oluline arvestada uuringute heterogeensusega. Li jt. (2023) rõhutavad, et vanusega kaasnev mikrobiota mitmekesisuse vähenemine on seotud pigem kroonilise põletikuga, kui vanusega iseenesest. Castro-Herrera jt (2021) leidsid 12-kuulises randomiseeritud kontrollitud uuringus eakate hooldekodu elanikega,

et *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG ja *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* BB-12 kombinatsioon ei avaldanud olulist mõju põletiku- ega immuunmarkeritele. Seevastu Jukic Peladic jt (2021) narratiivne ülevaade üheksast randomiseeritud uuringust näitas, et teatud tüved avaldasid siiski positiivset mõju: *Lactobacillus plantarum* CECT7315/7316 vähendas TGF- β 1 taset, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 8481 alandas IL-8 taset ning *Lactobacillus gasseri* KS-13, *Bifidobacterium bifidum* G9-1 ja *Bifidobacterium longum* MM2 kombinatsioon suurendas põletikuvastaste tsütokiinide IL-5 ja IL-10 taset.

Käesoleva uurimistöö tulemusi saab rakendada farmatseudi erialapraktikas eelkõige patsiendi nõustamisel. Töö koondab ja süstematiseerib teaduskirjanduses esitatud andmed vitamiinide ja toidulisandite rolli kohta vananemisega seotud muutuste kontekstis ning rõhutab tõendus põhise lähenemise olulisust. See aitab farmatseudil hinnata, milliste toidulisandite kasutamine võib olla põhjendatud ning millistel juhtudel on vajalik ettevaatlikkus või täiendav nõustamine. Eriti oluline on see olukordades, kus toidulisandeid kasutatakse krooniliste seisundite või vanusega seotud tervisemurede toetava vahendina. Oluline on rõhutada, et toidulisandid on vaid üks osa terviklikust lähenemisest tervislikule vananemisele. Toitumisvalikud, füüsiline aktiivsus, stressijuhtimine ja tervislik eluviis on esmaseks aluseks, millele saab vajadusel toidulisandite kasutamist lisada.

JÄRELDUSED

- Analüüsitud teaduskirjanduse põhjal selgus, et vananemisega kaasnevad bioloogilised muutused moodustavad omavahel seotud ja üksteist võimendava mehhanismi. Püsiv madala intensiivsusega põletik ning immuunsüsteemi vananemine (immunosenestsents) soodustavad vastastikku üksteist ning suurendavad organismi vastuvõtlikkust vanusega seotud haigustele. Epigeneetilised muutused kogunevad elu jooksul ning neid mõjutavad välised tegurid nagu stress ja ebatervislik elustiil. Need muutused süvendavad rakkude funktsiooni langust ning loovad aluse vanusega seotud haiguste kujunemisele.
- D-, C-, ja E-vitamiinide ning bioaktiivsete ühendite – resveratrooli ja lükopeeni – analüüs näitas, et nimetatud ained võivad toetada rakkude kaitset oksüdatiivse stressi eest, aidata säilitada telomeeride stabiilsust ning vähendada põletikulisi protsesse, kuid nende mõju tõenduspõhisus on erinev. D-vitamiini puhul ilmnes U-kujuline seos vitamiini taseme ja telomeeride pikkuse vahel, mis näitab seda, et nii D-vitamiini puudus kui ka liigtarbimine võivad olla kahjulikud. C-vitamiini kõrged annused võivad avaldada pro-oksüdatiivset toimet ning E-vitamiini toidulisandina kasutamise tõendusmaterjal on ebaühtlane. Omega-3 rasvhapete biosaadavus sõltub nende keemilisest vormist ning probiootikumide toime on tüvespetsiifiline.
- Töö põhjal koostatud tõenduspõhised soovitused valitud vitamiinide ja toidulisandite kasutamiseks vananemise kontekstis rõhutavad individuaalse lähenemise ja annuse tähtsust. Vananevad inimesed peaksid tarbima vitamiine ja toidulisandeid soovituslikes kogustes, vältides nii puudust kui ka üleliigset tarbimist. Toidulisandite kasutamine ei asenda tervislikku ja tasakaalustatud toitumist, vaid täiendab seda vajaduse korral. Soovituste järgimine võib toetada immuunsüsteemi toimimist, aidata ennetada vanusega seotud haiguste riski ning vähendada põletikulisi protsesse.

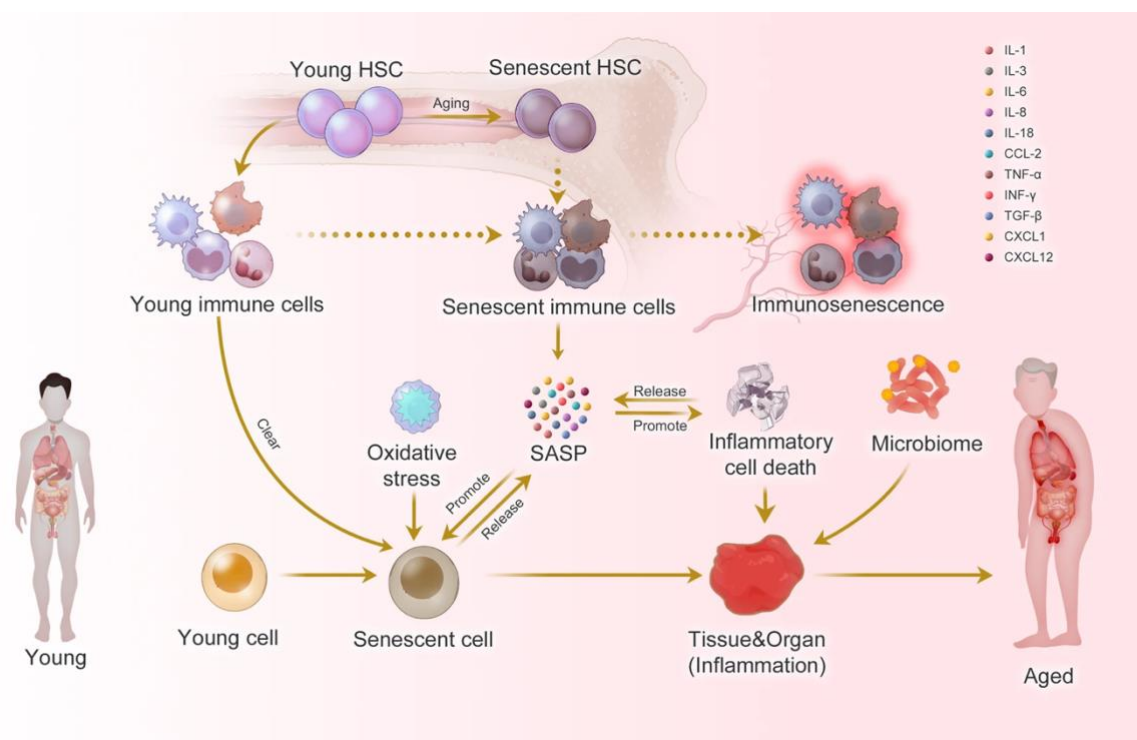
KASUTATUD KIRJANDUS

- Alberts, A., Moldoveanu, E. T., Niculescu, A. G., & Grumezescu, A. M. (2025). Vitamin C: A Comprehensive Review of Its Role in Health, Disease Prevention, and Therapeutic Potential. *Molecules* 2025, Vol. 30, Page 748, 30(3), 748. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES30030748>
- Bacanli, M., Bařaran, N., & Bařaran, A. A. (2017). Lycopene: Is it Beneficial to Human Health as an Antioxidant? *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(3), 311. <https://doi.org/10.4274/TJPS.43043>
- Bodur, M., Yilmaz, B., Ađagüdüz, D., & Ozogul, Y. (2025). Immunomodulatory Effects of Omega-3 Fatty Acids: Mechanistic Insights and Health Implications. *Molecular Nutrition & Food Research*, 69(10), e202400752. <https://doi.org/10.1002/MNFR.202400752>
- Cai, Y., Zhong, Y. Di, Zhang, H., Lu, P. L., Liang, Y. Y., Hu, B., & Wu, H. (2023). Association between dietary vitamin C and telomere length: A cross-sectional study. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1025936. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2023.1025936>
- Campos, M. J., Czlapka-Matyasik, M., & Pena, A. (2024). Food Supplements and Their Use in Elderly Subjects—Challenges and Risks in Selected Health Issues: A Narrative Review. *Foods*, 13(16), 2618. <https://doi.org/10.3390/FOODS13162618>
- Castro-Herrera, V. M., Fisk, H. L., Wootton, M., Lown, M., Owen-Jones, E., Lau, M., Lowe, R., Hood, K., Gillespie, D., Hobbs, F. D. R., Little, P., Butler, C. C., Miles, E. A., & Calder, P. C. (2021). Combination of the Probiotics *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis*, BB-12 Has Limited Effect on Biomarkers of Immunity and Inflammation in Older People Resident in Care Homes: Results From the Probiotics to Reduce In.... *Frontiers in Immunology*, 12, 643321. <https://doi.org/10.3389/FIMMU.2021.643321/FULL>
- Chandrasekaran, P., Weiskirchen, S., & Weiskirchen, R. (2024). Effects of Probiotics on Gut Microbiota: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences* 2024, Vol. 25, Page 6022, 25(11), 6022. <https://doi.org/10.3390/IJMS25116022>
- Chevalley, T., Brandi, M. L., Cashman, K. D., Cavalier, E., Harvey, N. C., Maggi, S., Cooper, C., Al-Daghri, N., Bock, O., Bruyère, O., Rosa, M. M., Cortet, B., Cruz-Jentoft, A. J., Cherubini, A., Dawson-Hughes, B., Fielding, R., Fuggle, N., Halbout, P., Kanis, J. A., ... Rizzoli, R. (2022). Role of vitamin D supplementation in the management of musculoskeletal diseases: update from an European Society of Clinical and Economical Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO) working group. *Aging Clinical and Experimental Research*, 34(11), 2603. <https://doi.org/10.1007/S40520-022-02279-6>
- Ciarcià, G., Bianchi, S., Tomasello, B., Acquaviva, R., Malfa, G. A., Naletova, I., La Mantia, A., & Di Giacomo, C. (2022). Vitamin E and Non-Communicable Diseases: A Review. *Biomedicines* 2022, Vol. 10, Page 2473, 10(10), 2473. <https://doi.org/10.3390/BIOMEDICINES10102473>

- Definition of oxidative stress - NCI Dictionary of Cancer Terms - NCI.* (n.d.). Retrieved November 19, 2025, from <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/oxidative-stress>
- Eggersdorfer, M., Berger, M. M., Calder, P. C., Gombart, A. F., Ho, E., Laviano, A., & Meydani, S. N. (2022). Perspective: Role of Micronutrients and Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids for Immune Outcomes of Relevance to Infections in Older Adults—A Narrative Review and Call for Action. *Advances in Nutrition*, 13(5), 1415. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMAC058>
- Ekowati, A. L., & Milas Siswanto, F. (2024). Epigenetic Alterations in Aging: A Brief Review. *Journal of Urban Health Research*, 2(3), 25–41. <https://doi.org/10.25170/JUHR.V2I3.5759>
- Fekete, M., Lehoczki, A., Tarantini, S., Fazekas-Pongor, V., Csípő, T., Csizmadia, Z., & Varga, J. T. (2023). Improving Cognitive Function with Nutritional Supplements in Aging: A Comprehensive Narrative Review of Clinical Studies Investigating the Effects of Vitamins, Minerals, Antioxidants, and Other Dietary Supplements. In *Nutrients* (Vol. 15, Number 24). <https://doi.org/10.3390/nu15245116>
- Jukic Peladic, N., Dell'Aquila, G., Carrieri, B., Maggio, M., Cherubini, A., & Orlandoni, P. (2021). Potential Role of Probiotics for Inflammaging: A Narrative Review. *Nutrients*, 13(9), 2919. <https://doi.org/10.3390/NU13092919>
- Kaufman, M. W., DeParis, S., Oppezzo, M., Mah, C., Roche, M., Frehlich, L., & Fredericson, M. (2024). Nutritional Supplements for Healthy Aging: A Critical Analysis Review. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 19(3), 346. <https://doi.org/10.1177/15598276241244725>
- Kaye, A. D., Thomassen, A. S., Mashaw, S. A., MacDonald, E. M., Waguespack, A., Hickey, L., Singh, A., Gungor, D., Kallurkar, A., Kaye, A. M., Shekoochi, S., Varrassi, G., Kaye, A. D., Thomassen, A., Mashaw, S., MacDonald, E., Waguespack, A., Hickey, L. C., Singh, A., ... Varrassi, G. (2025). Vitamin E (α -Tocopherol): Emerging Clinical Role and Adverse Risks of Supplementation in Adults. *Cureus*, 17(2). <https://doi.org/10.7759/CUREUS.78679>
- Kumari, R., & Jat, P. (2021). Mechanisms of Cellular Senescence: Cell Cycle Arrest and Senescence Associated Secretory Phenotype. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 645593. <https://doi.org/10.3389/FCELL.2021.645593>
- Kuo, C. L., Kirk, B., Xiang, M., Pilling, L. C., Kuchel, G. A., Kremer, R., & Duque, G. (2023). Very Low and High Levels of Vitamin D Are Associated with Shorter Leukocyte Telomere Length in 148,321 UK Biobank Participants. *Nutrients* 2023, Vol. 15, Page 1474, 15(6), 1474. <https://doi.org/10.3390/NU15061474>
- Li, X., Li, C., Zhang, W., Wang, Y., Qian, P., & Huang, H. (2023). Inflammation and aging: signaling pathways and intervention therapies. *Signal Transduction and Targeted Therapy* 2023 8:1, 8(1), 239-. <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01502-8>
- Ostaiza-Cardenas, J., Tobar, A. C., Costa, S. C., Calero, D. S., López-Carrera, A., Bermúdez, F. G., & Orellana-Manzano, A. (2025). Epigenetic modulation by life-style: advances in diet, exercise, and mindfulness for disease prevention and health

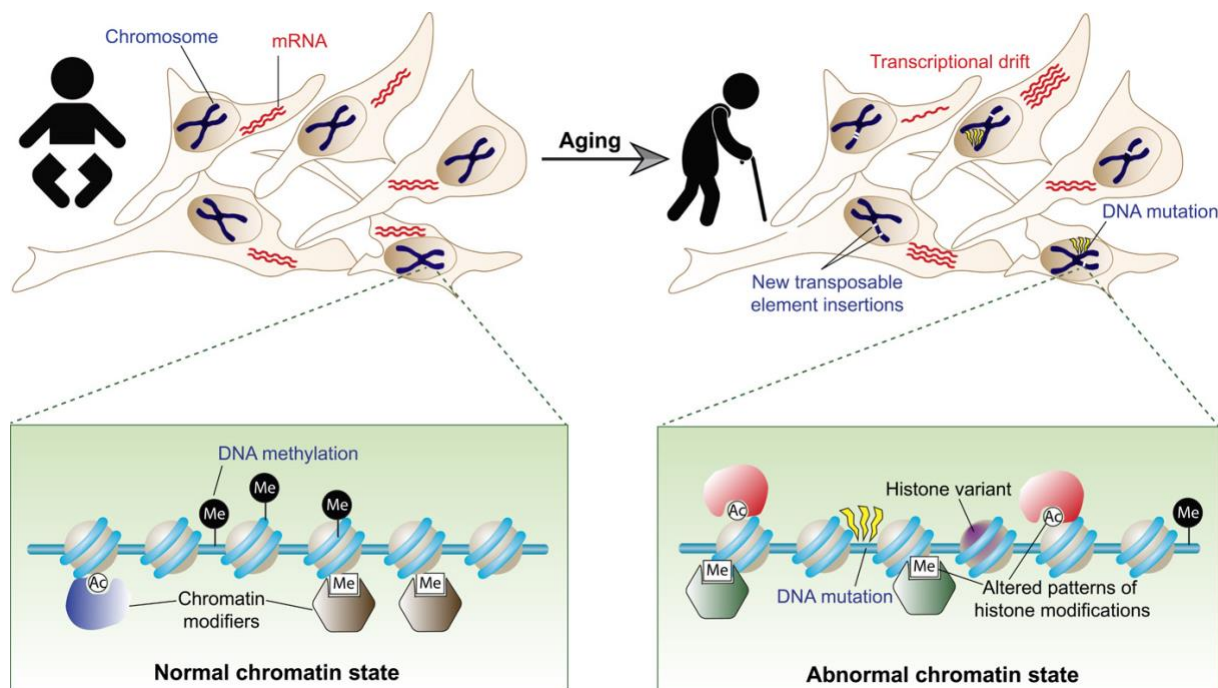
optimization. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1632999. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2025.1632999/FULL>

- Pagiatakis, C., Musolino, E., Gornati, R., Bernardini, G., & Papait, R. (2019). Epigenetics of aging and disease: a brief overview. *Aging Clinical and Experimental Research* 2019 33:4, 33(4), 737–745. <https://doi.org/10.1007/S40520-019-01430-0>
- Pal, S., & Tyler, J. K. (2016). Epigenetics and aging. *Science Advances*, 2(7), e1600584. <https://doi.org/10.1126/SCIADV.1600584>
- Poggioli, R., Hirani, K., Jogani, V. G., & Ricordi, C. (2023). Modulation of inflammation and immunity by Omega-3 fatty acids: a possible role for prevention and to halt disease progression in autoimmune, viral, and age-related disorders. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 27, 7380–7400.
- Ravimiomaduste kokkuvõte (SPC):
Omacor1000 mg pehmekapslid. [Ravimi omaduste kokkuvõte].
Ravimiamet. https://www.ravimiregister.ee/Data/SPC/SPC_1889219.pdf
- Salazar, A. M., Aparicio, R., Clark, R. I., Rera, M., & Walker, D. W. (2023). Intestinal barrier dysfunction: an evolutionarily conserved hallmark of aging. *Disease Models & Mechanisms*, 16(4), dmm049969. <https://doi.org/10.1242/DMM.049969>
- Sato, A., Kondo, Y., & Ishigami, A. (2024). The evidence to date: implications of l-ascorbic acid in the pathophysiology of aging. *The Journal of Physiological Sciences : JPS*, 74(1), 29. <https://doi.org/10.1186/S12576-024-00922-7>
- Shafe, M. O., Gumede, N. M., Nyakudya, T. T., & Chivandi, E. (2024). Lycopene: A Potent Antioxidant with Multiple Health Benefits. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2024(1), 6252426. <https://doi.org/10.1155/2024/6252426>
- Wrona, M. V., Ghosh, R., Coll, K., Chun, C., & Yousefzadeh, M. J. (2024). The 3 I's of immunity and aging: immunosenescence, inflammaging, and immune resilience. *Frontiers in Aging*, 5, 1490302. <https://doi.org/10.3389/FRAGI.2024.1490302>
- Zarei, M., Zarezadeh, M., Hamed Kalajahi, F., & Javanbakht, M. H. (2021). The Relationship Between Vitamin D and Telomere/Telomerase: A Comprehensive Review. *The Journal of Frailty & Aging*, 10(1), 2–9. <https://doi.org/10.14283/JFA.2020.33>
- Zhou, D. D., Luo, M., Huang, S. Y., Saimaiti, A., Shang, A., Gan, R. Y., & Li, H. Bin. (2021). Effects and Mechanisms of Resveratrol on Aging and Age-Related Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9932218>
- Zhu, Y., Ferrara, A., & Forman, M. R. (2018). Omega 3 polyunsaturated fatty acids and healthy ageing. In *BMJ (Online)* (Vol. 363). <https://doi.org/10.1136/bmj.k426>



Joonis 1. Inflammaging molekulaarsel, rakulisel ja elundite tasemel.

Vananemisprotsessi käigus läbivad peaaegu kõik keharakud senestsentsi, mida iseloomustab talitlushäire ja senestsentsiga seotud sekretoorne fenotüüp (SASP). Immuunrakud vastutavad senestsentsete rakkude äratundmise ja kõrvaldamise eest, kuid SASP mõjutab ka neid endid, põhjustades immuunvananemist ning vähendades organismi võimet reageerida nakkustele ja haigustele. Senestsentsete rakkude kuhjumine käivitab elundites põletiku, mis suurendab vanusega seotud haiguste riski. Positiivsed tagasisideahelad võimendavad seda protsessi veelgi, süvendades nii põletikku kui ka elundite kahjustusi. (Li et al., 2023).



Joonis 2. Ülevaade vananemise ajal toimuvatest epigeneetilistest muutustest.

Noores organismis on sama rakutüübi rakkudel üldiselt sarnane geeniekspressiooni muster, kuna nende epigeneetiline informatsioon on suurel määral ühesugune. Vananemise käigus võivad epigeneetilised muutused tekkida nii sisemiste kui ka väliste tegurite mõjul. Selle tulemusena võivad muutuda DNA metülatsioonimustrid, histoonide modifikatsioonid ja histoonivariantide jaotus kromatiinis. Sellised muutused võivad mõjutada kromatiini struktuuri ning põhjustada häireid geeniekspressioonis. Vananenud rakkudes võib ebanormaalne kromatiini seisund kaasa tuua transkriptsiooniliste protsesside muutusi, transponeeruvate elementide aktiveerumist ja genoomset ebastabiilsust, sealhulgas DNA mutatsioonide teket. (Pal & Tyler, 2016).