



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Integrativna razsvetljava kaj vemo novega

Grega Bizjak



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Integrativna razsvetljava

- Integrativna razsvetljava
- Integrative Lighting
- Human centric lighting
- Lighting for health and well-being
- Razsvetljava za zdravje in dobro počutje

Z vizualnimi, biološkimi in čustvenimi koristmi lahko rešitve za človeško osrednjo razsvetljava podpirajo človeški cirkadiani ritem, povečajo koncentracijo, preprečijo motnje spanja in izboljšajo splošno počutje (Lumenia).

2 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Integrativna razsvetljava

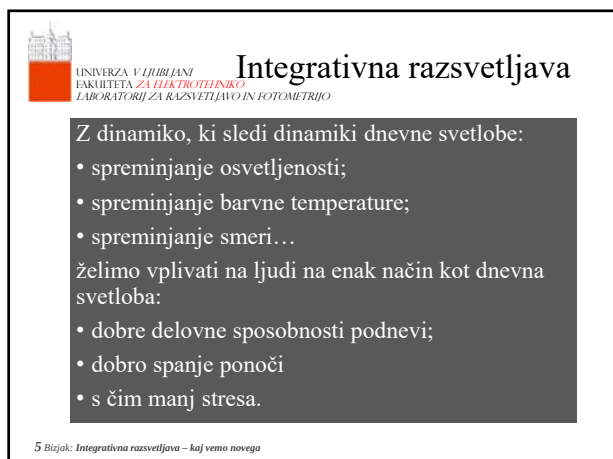
Večina vsebine temelji na članku:

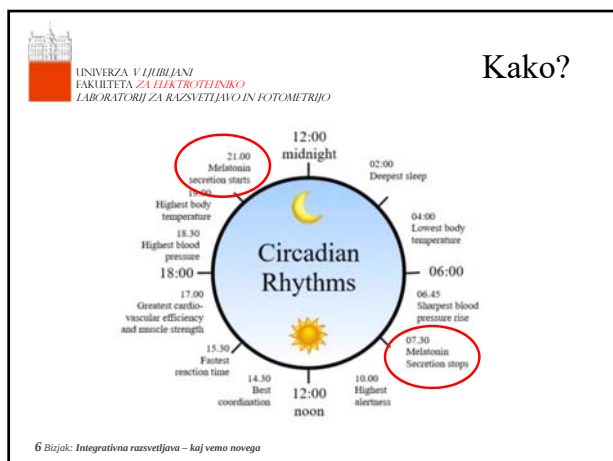
RG Foster PhD: Fundamentals of circadian entrainment by light, Lighting Research & Technology. 2021; 53: 377-393

Sleep and Circadian Neuroscience Institute, Nuffield Laboratory of Ophthalmology, Nuffield Department of Clinical Neurosciences, Oxford
Molecular Pathology Institute, Sir William Dunn School of Pathology, University of Oxford, Oxford, UK

3 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega









UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Kako?

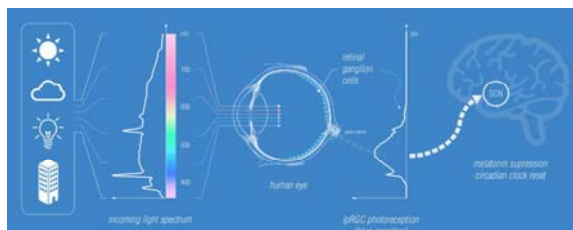
- Svetloba ne omogoča samo vida ampak ima tudi druge (ne-slikovne) učinke.
- S tem v zvezi običajno srečamo:
 - Tretji fotoreceptor: na svetlobno občutljiva retinalna ganglijska celica (Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells - ipRGC)
 - Suprakiazmatično jedro (Suprachiasmatic nucleus – SCN)
 - Melatonin = spalni hormon
 - Melanopsin: pigment, ki je najbolj „občutljiv“ na modro svetlobo

7 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Kako?



8 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Kako?

- Povedano preprosto:
- Modra svetloba vzbudi odziv ipRGC.
 - Te pošljejo signal v SCN.
 - SCN ustavi izločanje melatonina.
 - Posledično smo bolj budni oziroma manj zaspani.

9 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANSTVOST
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Kako?

Povedano preprosto:

- Modra svetloba vzbudi odziv ipRGC
- Te pošljejo signal v SCN
- SCN ustavi izločanje melatonina
- Posledično smo bolj budni oziroma manj zaspali

10 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANSTVOST
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

ipRGC

Na svetlobo občutljiva retinalna ganglijska celica (ipRGC).

- Prvič opažena 1923.
- Začetki bolj podrobnih raziskav v 1980ih in 1990ih.
- identificirana 2002.
- Vsebuje melanopsin (OPN4), na (modro) svetlobo občutljiv protein.
- 2005 odkrita povezava z LGN (lateral geniculate nucleus – povezan z vidnim delom), prej samo z SCN.
- 2007 dokazani ne-slikovni učinki pri ljudeh.

11 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANSTVOST
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Melatonin

Melatonin ~~≠~~ spalni hormon
SCN ~~≠~~ glavno gonilo
cirkadianih aktivnosti

12 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Melatonin

SCN = sinhronizator notranjih ur v različnih tkivih in organih

Melatonin = biološki marker izpostavljenosti temi oz. odsotnosti svetlobe

13 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Melatonin

- Vsebnost melatonina se poveča ponoči tudi pri nočno aktivnih živalih.
- Tudi SCN ima receptorje za melatonin, torej večja količina melatonina verjetno predstavlja dodaten signal za sinhronizacijo notranje ure.
- Vendar je melatoninski signal v SCN razmeroma šibek v primerjavi z svetlobnim signalom. Zato notranja ura vedno reagira na svetlobni signal.
- Melatonin je bolj „modulator“ kot „gonilnik“ spanja.

14 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega

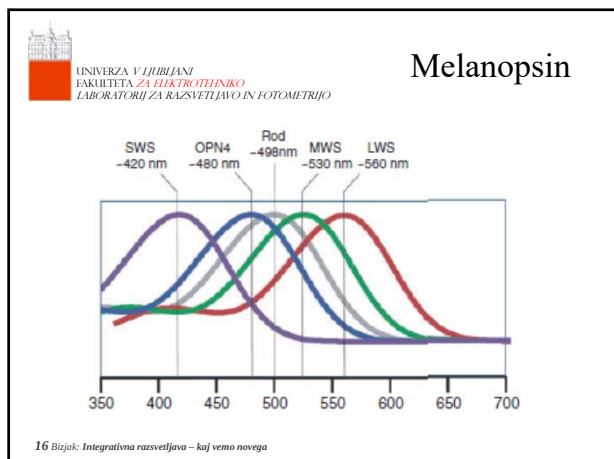


UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Melanopsin

- Melanopsin (OPN4) je na svetlobo občutljiv protein.
- Največjo občutljivost ima pri 480 nm (modra svetloba).
- Sodeluje pri zaznavanju svetlobe v ipRGC.
- Posledično ima modra svetloba največji ne-slikovni učinek.

15 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Melanopsin

- Melanopsin razmeroma hitro reagira na svetlobo.
- ipRGC nima posebne strukture za koncentracijo fotopigmenta kot jo imajo čepnice in paličnice.
- Zato je verjetnost absorpcije fotona bistveno manjša (1:1 000 000)
- ipRGC potrebujejo daljšo obsevanost.

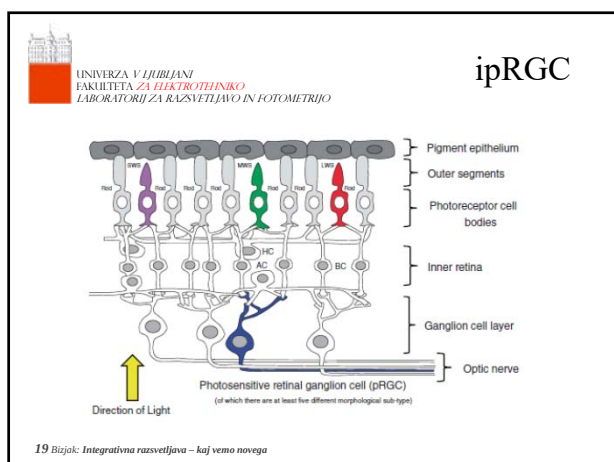
17 Bižjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

ipRGC

- ipRGC so ganglijske celice in tako kot druge ganglijske celice tvorijo povezavo med fotoreceptorji in optičnim živcem.
- ipRGC reagirajo same na svetlobo, dobijo pa tudi signale od paličnic in čepnic.

18 Bižjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

ipRGC

- Povezava s paličnicami in čepnicami pomeni, da je spektralna občutljivost mehanizma ne-slikovnih učinkov lahko precej širša, kot je spektralna občutljivost samih ipRGC oziroma melanopsina
- Zato trenutno samo zelo približno vemo, kako določena svetloba (CCT) vpliva na velikost ne-slikovnih učinkov.

20 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

ipRGC

ipRGC je povezana tudi z:

- odzivom zenice,
- akutnim zaviranjem gibalne aktivnosti,
- indukcijo spanja,
- stopnjo budnosti,
- vplivom na vedenje in razpoloženje,
- stopnjo tesnobe,
- pa tudi z vidnim sistemom.

21 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

ipRGC

Znan vpliv na vidni sistem:

- informacija o splošnem nivoju svetlosti okolice,
- zaznavanje svetlosti in kontrasta,
- adaptacija vidnega odziva,
- možno pa je, da zagotavlja tudi prostorske informacije in podpira osnovni vid.

22 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

ipRGC

ipRGC lahko obravnavamo kot „splošni detektor svetlosti“, ki vpliva na več vidikov fiziologije in vedenja.

Obstaja več različnih ipRGC (vsaj 5). So različno razporejene po mrežnici. Različne vrste ipRGC imajo povezave z različnimi deli možganov in verjetno tudi različne funkcije.

23 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

Paličnice se uporabljajo pri nizkih svetlostih okolice, čepnice se uporabljajo pri visokih svetlostih okolice ter za detekcijo in integracijo občasne izpostavljenosti svetlosti.

ipRGC pa zagotavljajo informacijo o višjih nivojih svetlosti okolice ki trajajo dalj časa.

24 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

Ena od možnosti, zakaj obstaja povezava med vsemi tremi fotoreceptorji je, da to omogoča tudi zaznavanje spremembe svetlobe oziroma njene spektralne vsebine. Ta pa se najhitreje spreminja ob zori in mraku.

Verjetno je to sinhronizacijski signal.

25 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

Prve študije, ki so pokazale vpliv svetlobe na cirkadiani ritem človeka so bile opravljene z močno in dolgotrajno svetlobo:

- 5 000 do 10 000 lx
- 3 do 6 ur

26 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

Študija iz leta 2000:

- obsevanost 6,5 ur
 - osvetljenosti med 1 in 10 000 lx
- je pokazala, da odziv na obsevanje, ki povzroči premik notranje ure, doseže nasičenje nekje pri 550 lx.

27 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

Zanimivo je, da so študije pokazale, da je za učinek potrebno razmeroma dolgo obsevanje, čeprav fotopigmenti reagirajo razmeroma hitro.

To je verjetno posledica dejstva, da ipRGC nimajo mehanizma za koncentracijo fotopigmenta.

28 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

V zadnjih letih je tudi veliko govora o uporabi telefonov in tablic v večernem času pred spanjem.

Njihova modra svetloba osvetlitve zaslona naj bi zmanjševala raven melatonina v krvi in tako poslabšala spanec.

29 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

Večina tovrstnih študij se je osredotočila na vpliv njihove uporabe na raven melatonina.

Ker pa melatonin ni edini, ki vpliva na spanec, je bil tak pristop verjetno napačen.

Nekaj študij, ki so obravnavale spanec pa tudi raven melatonina je pokazalo drugačne rezultate.

30 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

- 2-urno delo z računalnikom pri študentih povzroči rahlo (statistično nepomembno) zmanjšanje melatonina v krvi.
- 4 urno branje (18:00 – 22:00) elektronskih in klasičnih knjig: po branju elektronske so osebe zaspale kasneje – razlika samo 10 minut.

31 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Jakost in trajanje svetlobe

Seveda pa je možno, da uporaba telefona ali tablice poslabša spanec. Ne zaradi učinka svetlobe ampak zaradi tega, ker njuna uporaba poveča budnost možganov in posledično zakasni spanec.

32 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA HUMANISTIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Svetlobna zgodovina

Študije kažejo tudi, da je naš odziv na svetlobo odvisen tudi od „svetlobne zgodovine“ – izpostavljenosti svetlobi ali temi v bližnji preteklosti.

Drug vplivni faktor pa je verjetno starost. Mlajši otroci (zgodnja puberteta) se hitreje odzovejo na svetlobo kot mladi po puberteti.

33 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Svetlobna zgodovina

Odziv na svetlobo slabi tudi kasneje. Pri starejših miših se je pokazalo, da se je izražanje genov pod vplivom svetlobe v SCN zmanjšalo za 50 %.

Vseeno pa dolgotrajno „zdravljenje“ s svetlobo (~1000 lx) in temo pri starejših omili simptome motenega zaznavanja, razpoloženja, vedenja, spanja...

34 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Čas v dnevu

Na vpliv svetlobe na nas vpliva tudi čas v dnevu, ko smo svetlobi izpostavljeni:

- svetloba zjutraj prestavi „cirkadiani sistem“ naprej – prej bomo vstali in prej smo zaspani;
- svetloba zvečer prestavi „cirkadiani sistem“ nazaj: kasneje smo zaspani in kasneje bomo vstali.

35 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Zaključki

Zaradi naštetih razlogov in ker primanjkuje še veliko bistvenih informacij, recimo, ali je smer svetlobe tudi pomembna, poskušati razviti umetno integrativno razsvetljavo v stavbah za stabilizacijo ciklov spanja/budnosti pri ljudeh ni preprosto.

36 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Zaključki

V naslednjem koraku proti pravi integrativni notranji razsvetljavi bo potrebno izvesti še veliko študij. Predvsem takih, pri katerih bomo ugotovili, kako se ljudje odzivajo na dinamično razsvetljavo v realnem okolju.

37 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LABORATORIJ ZA RAZSVETLJAVO IN FOTOMETRIJO

Konec!

Hvala lepa za
pozornost

38 Bizjak: Integrativna razsvetljava – kaj vemo novega
