

AZ OPTIKAI SUGÁRZÁS ÉLETTANI HATÁSAI

Schanda János

a műszaki tudomány doktora, prof. emeritus,
Veszprémi Egyetem Szín- és Multimédia Laboratórium – schanda@almos.vein.hu

Az elektromágneses színek optikai tartományán belül a 195–400 nm-es tartományban a fotonok energiája elég nagy ahhoz, hogy a szerves molekulákban kémiai változást hozzon létre. Hosszabb hullámhosszakon elsősorban a sugárzás hőhatása okozhat változást a szervezetben. Számba vesszük mind a kémiai, mind a termikus hatásokat, s ezeket két nagy csoportban, a bőrfelületre és a szemre gyakorolt hatásokat különválasztva tárgyaljuk. Végül röviden kitérünk az ember által készített fényforrások sugárzásuk alapján készített élettani, biztonságtechnikai besorolására.

Bevezetés

Az elektromágneses színek 1 nm-től 1 mm-ig terjedő hullámhossztartományát optikai sugárzásnak nevezik. [1] A levegő azonban a 195 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú sugárzást már igen erősen elnyeli, így közvetlen élettani hatásával nem kell foglalkoznunk. A 195 nm és 295 nm közé eső, számottevő erősségű sugárzás csak az ember által készített sugárforrásokból juthat az élő szervezetbe, mert a napsugárzás e részét a felső légkörben ózonpajza erősen elnyeli (erre később visszatérünk). A hosszabb hullámhosszak felé haladva 1,3 mm fölött a levegő elnyelése több sávban ismét erősen megnő, és a Nap sugárzásának erőssége is csökken, ezért az ebben a tartományban érkező természetes sugárzásnak sincs élettani veszélye. Ezzel szemben az ember által készített infravörös sugárzók hőhatása lényeges lehet, ezek élettani hatásával foglalkoznunk kell.

Az emberre az optikai sugárzás ultraibolya, látható és közeli infravörös színek tartománya a legfőbb veszélyforrás, az ebből a tartományból származó sugárzásnak azonban számos, élettanilag fontos pozitív hatása is van.

Szemünk a látható sugárzást fényként érzékeli, ennek hullámhosszhatárai 380 nm és 780 nm. Az ultraibolya színek tartományt három részre szokás osztani (1. részletesen **Thuróczy György** tanulmányának 1. táblázatát).

Bár a hagyományos felosztás [1] nem tükrözi a különböző élettani hatások ma ismert határait, általános elterjedtsége miatt nemzetközileg ma is e felosztást használjuk. Ha finomabb felosztásra van szükség, akkor szokás az UV-A tartományt két részre osztani: UV-A1 és UV-A2; határvonalként a 340 nm-es hullámhosszat állapították meg [2].

Az optikai sugárzás élettani hatásait vizsgálva a sugárzás **aktinikus hatásairól*** szoktunk beszélni. A hullámhosszhatárok rögzítésén kívül a második legfontosabb fogalom az aktinikus hatásspektrum. Ez a színek ad felvilágosítást arról, hogy adott molekula-típusra miként hat az optikai sugárzás. Meghatározásánál fontos szerepet játszik, hogy azt laboratóriumi körülmények között, preparátumon vagy *in vivo* határozták-e meg. Ábrázolni általában hullámhossz vagy hullámszám (fotonenergia) függvényében szokták, az ordinátán a hatás kiváltásához szükséges energiát, a teljesítményt vagy

* Az optikai sugárzás kémiai, biokémiai hatásai.

ezek reciprokát feltüntetve. Sokszor használnak relatív és logaritmikus ordináta léptéket is, mivel számos aktinikus hatás hullámhosszfüggése sok nagyságrenden át változik, s – még ha a leginkább ártalmas sugárakat ki is szűrtük – a káros sugárzások maradékanak hatása is veszélyes lehet.

Az aktinikus hatásspektrumoknak két csoportját szokás megkülönböztetni: a biológiai kísérleteknél figyelembe veendő, a legújabb kísérleti eredményekre támaszkodó hatásspektrumot és – káros hatások esetén – a biztonsági szempontok szerint megállapított hatásspektrumot. Ezek figyelembe veszik tudásunk bizonytalanságát is, emiatt a hatást sokszor csak durva burkológörbével közelítik. A különböző biztonsági előírásokban e színeképek szerepelnek.

Az optikai sugárzás károsító hatásai

Az élő szervezet szövetei az optikai sugárzással vagy hőhatás révén, vagy fotokémiai reakció formájában vannak kölcsönhatásban. A hőhatás szempontjából csak a **szövetben elnyelt teljesítmény** és a **besugárzási idő** veendő számításba, az elnyelt foton energiája közömbös. Lényeges viszont a szervezet hőelvezető képessége, ezért az élő szervezeteknél pl. a szöveten átáramló vér mennyisége, a besugárzott terület nagysága és természetesen az adott sejtek spektrális abszorpciós tulajdonsága. Feltéve, hogy a sugárzás egészséges emberi érzékszerveket érint, a hőhatás égető érzése miatt az ember igyekszik elkerülni a túlzottan erős felmelegedést. De pl. műtétnél a sebésznek szüksége van arra, hogy igen apró részleteket is tisztán lásson, s ehhez a feltárt testrészt nagy intenzitással kell megvilágítani. Ekkor szükség van arra, hogy a fényforrások infravörös sugárzását kiszűrjék, mert ezek a látáshoz nem járulnának hozzá, de feleslegesen melegítenék a testszöveteket.

Fotokémiai reakciókról beszélünk, ha az optikai sugárzás fotonjainak elég nagy az

energiája ahhoz, hogy egyes molekulákban kémiai változást hozzanak létre. Kémiai rendszerekben általában nem a sugárzás pillanatnyi erőssége szabja meg a létrejött hatást (az átalakult molekulák számát), hanem az elnyelt dózis, azaz a besugárzás ideje alatt elnyelt összenergia. A besugárzás erősségét csökkentve az élő szervezetben eljutunk egy olyan értékhez, amely alatt a szervezet önhelyreállító képessége a létrehozott roncsoláshoz képest nem elhanyagolható, s ekkor megszűnik a dózis állandósága. A fotokémiai reakciók leírásánál általában a dózis állandóságához szükséges besugárzási teljesítmény mellett végzik a kísérleteket.

A főbb mechanizmusok, melyek az emberi szervezetben fotokémiai és termikus károsításhoz vezethetnek, a következők [3]:

- A bőr fotokémiai vagy fényérzékenyített károsodása (400 nm alatt jelentős), amikor a fényérzékenyítést bizonyos gyógyszerek válthatják ki, ilyenkor a bőr-rák az egyik leglényegesebb veszély.
- A szem fotokémiai vagy fényérzékenyített károsodása (400 nm alatt jelentős).
- A szem retinájának termikus károsodása (veszélyes tartomány: 400–1400 nm).
- A retina kék fény általi fotokémiai károsodása (legveszélyesebb a 400–550 nm közötti tartomány, ha a szemlencsét eltávolították, az ultraibolya színek tartomány is).
- A szemlencse termikus veszélyeztetettsége (legkritikusabb a 800–3000 nm közötti tartomány).
- A bőr égési sebezhetősége.
- A kornea égési sebezhetősége (kritikus az 1400 nm–1 mm közötti tartomány).

Mindezek a hatások összetett színeképi eloszlást mutatnak. A hatás függ a besugárzott felület nagyságától, a besugárzás irányától és időtartamától. Ezért a biztonságtechnikai hatásfüggvények az egyes esetekre számított legnagyobb veszélyt figyelembe vevő burkológörbék, és nem követik a tényleges fotokémiai reakciókat elő-

idéző molekuláris jelenségek elnyelési színeképét.

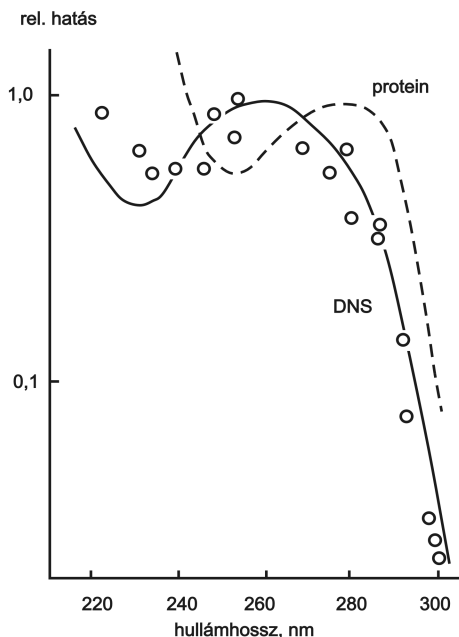
Annak érdekében, hogy a nagyközön-séget figyelmeztessék a Nap ultraibolya sugárzásának káros hatásaira, az ICNIRP [3] a nemzetközi meteorológiai (World Meteorological Organisation, WMO) és a egészségügyi (World Health Organisation, WHO) szervezetekkel közösen készített egy *UV index* ajánlást. Ez a Nap sugárzásának veszélyes voltára hivatott felhívni a figyelmet. E skála alapján egyértelműen megadható, hogy egy bizonyos helyen, adott időpontban milyen veszélyességű az ultraibolya sugárzás [4].

Az ultraibolya sugárzás okozta veszélyek elkerülése érdekében a szakértők az alábbi néhány, könnyen betartható szempontra hívják fel a figyelmet:

- Kerüljük a közvetlen napfényt a déli órákban!
- Viseljük megfelelő ruházatot (figyelem, a különféle textíliák ultraibolyasugárzás-áteresztése nagyon eltérő lehet, és víz-es állapotban általában csökken), és viseljük széles karimájú kalapot!
- A csecsemőket és a kisgyerekeket különösen óvjuk a Nap közvetlen besugárzásától! Ez különösen érvényes a szabadban játszó gyerekek sugárzás elleni védelmére.
- Ha mégis közvetlen napsugárzásban kell tartózkodnunk, használjunk legalább 15-ös faktorú (sun protection factor, SPF), mind az UV-A, mind az UV-B sugárzást elnyelő vagy reflektáló napvédő krémet!

A kutatókat hosszú időn át zavarta, hogy a makroszkóposan észlelt aktinikus spektrumok nem követték a proteinek elnyelési színeképét (l. [1]). Napjainkban bizonyítottnak tekinthető, hogy a DNS-nek vagy egy komponensének elnyelési színeképét jól követi az élő sejtek elhalálzási színeképe.

A hatásszíneképek meghatározásának számos technikai nehézségét kellett az elmúlt időben megoldani, kezdve az optikai,



1. ábra • UV sugárzás baktériumölő hatása: O, valamint a DNS és a protein abszorpciós színeképe

spektrometriai problémáktól, a kémiai, biokémiai preparatív módszerek finomításáig. A legtöbb hatásfüggvény a látható színeképtartomány felé meredeken esik, a mérés eredményét spektrométerbe jutó gyenge szórt fény is meghamisíthatja.

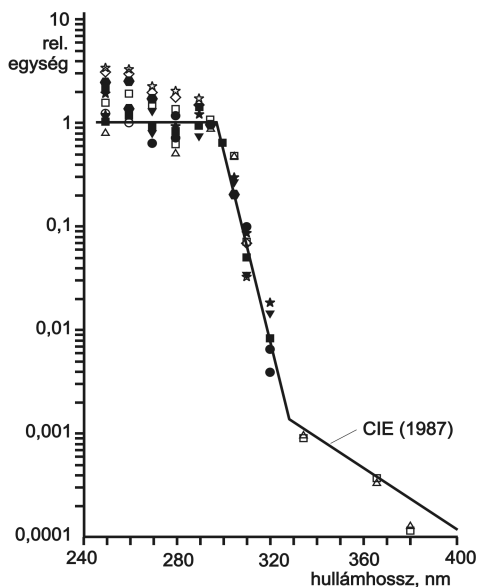
Az optikai sugárzás bőrt károsító fontosabb hatásai:

Az erythema hatásfüggvény

Talán a legtöbbet vizsgált hatásfüggvény a bőrpír (erythema). Napozás után pár órával bőrünk pirosas elszíneződést ölt, amely lassan (egészségesnek mondott) barnás színezetbe megy át. Korai vizsgálatok azt mutatták, hogy 300 nm körül éles maximuma van a bőrpír keletkezésének, rövidebb hullámhosszak felé ezt minimum követi, majd újabb emelkedett érték következik, s a rövid hullámhosszak felé e nagy érték körül marad a bőrpír hatásfüggvénye [6]. Későbbi

vizsgálatok rámutattak arra, hogy a minimum mélysége és a rövidhullámú második maximum kialakulása függ a besugárzás erősségétől, a leolvasás időpontjától és még további tényezőktől. Számos további mérés adatát is figyelembe véve 1987-ben a CIE szabványosított egy *referencia erythema színeképet*, amely a biztonságtechnikai kérdéseket is figyelembe veszi. Ezt a függvényt szemlélteti az alapjául szolgáló mérési eredményekkel együtt a 2. ábra. A log-lin léptékben három egyenes szakaszból álló függvény jól közelíti az egyes mérések eredményét, de látható, hogy nemcsak az UV-B, de az UV-A tartományban is még mérhető nagyságú a hatásfüggvény. Ez is felhívja a figyelmet arra, hogy a „leégés” elkerülése végett bőrünk védelmére olyan védőkrémek kell használni, amely az UV-A tartományban is kellő védelmet biztosít.

Sok ultraibolya sugárzási hatás vizsgálatakor az erythema-hatást tekintik referen-



2. ábra • A CIE 1987 erythema hatásfüggvény. A berajzolt jelek nyolc, különböző szerzők által 1964-82 között végzett mérés adatait tüntetik fel,

ciaértéknek. Ezért ennek dóziségységét is rögzítették [7]: A *standard erythema dose* (SED) értéke: $1 \text{ SED} = 100 \text{ J} \times \text{m}^{-2}_{\text{eff}}$

A különféle emberek bőre különböző mértékben érzékeny az ultraibolya sugárzásra. Az európai vagy kaukázusi típus bőrét négy csoportba szokás osztani, annak függvényében, hogy milyen reakciót vált ki bennük az UV-besugárzás (1. táblázat) [8].

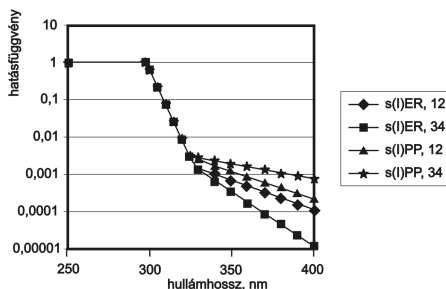
bőrtípus	a bőr reakciója UV hatására	előfordulás (%)
I.	mindig leég, nem barnul	2
II.	általában leég, néha barnul	12
III.	néha leég, általában barnul	78
IV.	nem ég le, mindig barnul	8

1. táblázat • A kaukázusi bőrtípusok ultraibolya sugárzás hatására mutatott reakciója

Fényérzékenyítő anyagok és hatások

A kutatók egyre több anyagról állapítják meg, hogy fényérzékenyítő hatásúak, ha külsőleg érintkezésbe kerülnek a bőrrel, vagy gyógyszerként beadva, a szert használó személy sejtei fényérzékenyekké válnak, a sugárzás hatására elhalhatnak. A fényérzékenyítő anyaggal kezelt testrészen az ultraibolya vagy látható sugárzás hatására a fényérzékenyítő molekula gerjesztett állapotba jut, majd energiáját oxigénnek (szuperoxid vagy naszcensz oxigén), esetleg más molekulának adja át [9]. A fényérzékenyítő hatásra már sokkal kisebb dózisok váltanak ki reakciót, mint amit erythema keletkezésénél észlelünk. Eközben a fényérzékenyítő szer összetételétől függően a hatás eltolódhat a látható színeképtartomány felé. Ezt a fototoxikus hatást fel lehet használni a gyógyászatban is, mert pl. egyes tumorfajták bizonyos fényérzékenyítő anyagokat meg tudnak kötni, s így ultraibolya besugárzással lokálisan lehet őket pusztítani. Bizonyos

fényérzékenyítő anyagoknak azonban fotokarcinogén hatása is lehet. Ezért a jelenséget mind a kozmetikai ipar újabb készítményeinek bevezetése előtt, mind gyógyszerek és más olyan anyagok kidolgozása során, amelyek a bőrrel kapcsolatba kerülhetnek, gondosan vizsgálni kell, s csak egyértelmű negatív eredmény birtokában szabad a termékeket forgalomba állítani.

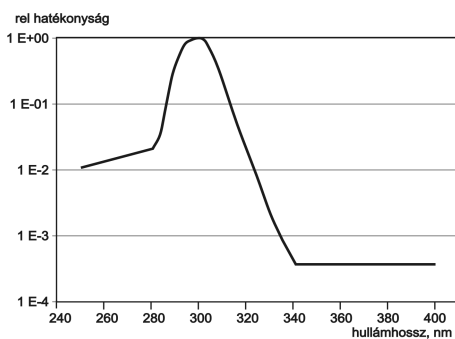


3. ábra • Kaukázusi bőrre vonatkozó erythema és pigmentáció (bőrbarnulás) ajánlott hatásfüggvényei

Non-melanoma bőrrák kiváltása

Napjaink egyik legalaposabban vizsgált rákkeltő hatása a napfény. A Föld lakossága a szabad ég alatt élve jutott el jelenlegi biológiai állapotába. Ezért azt hihetnénk, hogy hozzácsokott, akklimatizálódott a Nap sugárzásához. Ez részben igaz is, de nem szabad figyelmen kívül hagyni az alábbiakat. Egyrészt a bőrrák évek alatt akkumulálódó változások következménye, s az elmúlt évszázadban számottevően nőtt az emberi élet hossza. Kétszáz-háromszáz évvel ezelőtt élt őseink el sem érték azt az életkort, amikor a bőrrák tömegesebben jelentkezett volna. Másrészt az elmúlt évszázad mobilitása olyan éghajlati vidékekre vetette az emberek nagy csoportjait, ahol a Nap átlagos sugárzása lényegesen eltér attól az értéktől, amelyhez őseik az előző néhány évezredben hozzácsoktak (pl. az angolszász gyarmatosítók Ausztráliában). Az emberiség életmódja is nagyban változott. A mérsékelt

égöv alatt élő őseink tavasztól folyamatosan hozzácsoktak az erősebb napsugárzásához, s lassan lebarnuló bőrük védőréteget alakított ki, ma a télen és tavasszal szobában dolgozó ember hirtelen jut ki a melegebb égöv alatti nyaralási helyére, s a sugárzásához hozzá nem szokott bőrre hirtelen kap nagy dózisu sugárzást. A legtöbb aggodalomra azonban az ad okot, hogy Földünk felületét a felső légkör ózonrétege védte a rövidhullámú ultraibolya sugárzástól, mivel az ózon erősen abszorbeál a 300 nm alatti hullámhossztartományban. Az ember által a légkörbe bocsátott gázok egy része (elsősorban a fluortartalmú gázok) megbontja az ózon kötését, ezáltal csökken az ózonréteg vastagsága, ennek következtében nő a Föld felszínén a rövidhullámú sugárzás erőssége.



4. ábra • Non-melanoma bőrrák hatásfüggvény

A legújabb vizsgálatok szerint a nem-melanoma bőrrák veszélyességi hatásspektruma hasonlít az erythema hatásspektrumához, lényeges eltérés csupán az, hogy úgy tűnik, 340 nm fölött nem csökken a sugárzás veszélyessége. Az eddigi adatok azonban nem elegendőek ahhoz, hogy a látható sugárzás tartományában meg lehessen rajzolni a hatásspektrumot [10]. A bőrrák veszélyességi spektrumát a **4. ábrán** tüntettük fel.

Malignus melanoma

Az 1980-as években több tanulmány is foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy a bőrrák

ún. malignus melanoma formájának (cutaneous malignant melanoma, CMM) kialakulását mennyiben befolyásolja az optikai besugárzás. Az első tanulmányok pozitív összefüggést mutattak ki a malignus melanomában megbetegedett személyek száma és a fénycsővilágítás mellett eltöltött idő között [11]. Az alaposabb vizsgálatok azonban nem tudták megerősíteni a kezdetben talált összefüggéseket. A kérdés összefoglalásaként a CIE 1988-as közleménye [12] leszögezi, hogy a rendelkezésre álló adatok nem támasztják alá, hogy összefüggés lenne a melanoma veszélye és a fénycsővilágítás között. A bizottság azonban felhívta az epidemiológusokat, hogy vizsgálják tovább a kérdést. (Tudomásunk szerint azóta sem jelentek meg olyan közlemények, melyek a fénycsővilágítás veszélyességét alátámasztották volna.)

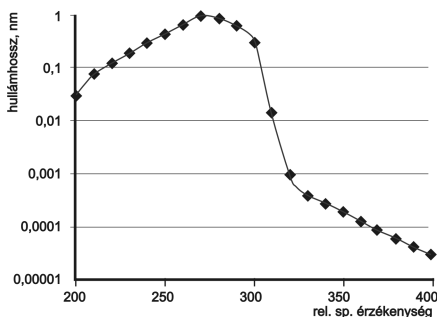
A melanoma kialakulásának veszélyét azonban nagyban növeli a gyengített ózonpajzsra átjutott nagyobb intenzitású rövidhullámú ultraibolya sugárzás. A CMM kialakulásában jelentős szerepe van a Nap besugárzásának. A gyermekkorban elszenvedett erythemás behatások növelik a CMM kialakulásának valószínűségét [13]. A CMM hatásfüggvényének meghatározására azonban még további vizsgálatokra van szükség [14].

Az optikai sugárzás szemet károsító hatásai

Szemünk különböző elemei eltérő mértékben engedik át az ultraibolya, a látható és az infravörös sugárzást. Az ultraibolya sugárzás legnagyobb része már a szem legkülső rétegén, a corneán elnyelődik. A rövidhullámú ultraibolya sugárzás a cornea és a szemet körülvevő kötőhártya heveny gyulladásos megbetegedéséhez vezet (photokeratitis és photoconjunctivitis). Hosszan tartó, ismételt besugárzás váltja ki a szűrkehályogot (kataraktus). A cornea

és szemlencse a rövidhullámú ultraibolya sugárzást erősen elnyeli, az egészséges szem retináját ezért csak a hosszabb hullámhosszú sugárzás éri el. A retinakárosodás két formáját szoktuk megkülönböztetni: a kék fény okozta, fotobiológiai hatásra bekövetkező károsodást, illetve a retina égési károsodását kis területre fókuszált besugárzás hatására. Ezekon kívül meg kell még említeni az infravörös sugárzás okozta hályogot, amely hosszú időn át történő besugárzás következménye.

Mivel az egyes hatásokkal szemben a szem regenerációs képessége különböző, az egyes hullámhossztartományokban a megengedett dózis értékét külön-külön szokták megszabni attól függően, hogy rövid idejű behatásról van-e szó, vagy a munkanap egésze alatt éri a szemet a káros sugárzás, esetleg a foglalkozással járó hatással kell-e számolni.



5. ábra • Az IRPA által ajánlott humán aktinikus hatásfüggvény

Photokeratitis és photoconjunctivitis

A photokeratitis és photoconjunctivitis a rövidhullámú (UV-C) besugárzást követően néhány órával alakul ki, a szem vörösdésével jár, kellemetlen szűrő érzést vált ki, mely azonban hosszabb-rövidebb idő elteltével elmúlik. A CIE mind az igen fájdalmas photokeratitisre, mind a photoconjunctivitisre közölt hatásfüggvényeket [1, 2], de ezek korábbi mérési adatokra tá-

maszkodnak. Ma a szem ultraibolya veszélyeztetettségére az IRPA (International Radiation Protection Association) hatásfüggvénye a mérvadó [17] (5. ábra).

Kék fény okozta károsodás

A kék fény okozta károsodást a nemzetközi fénytechnikai szakirodalom *blue-light hazard*-nak, az orvosi szakirodalom *photoretinitis*-nek nevezi. A jelenséggel csak az 1970-es években kezdtek behatóan foglalkozni, és megállapították, hogy túlzottan erős közeli ultraibolya és rövid hullámhosszúságú látható sugárzás károsíthatja a retinát (pl. ha napfogyatkozásakor rátekinünk a Napra vagy hosszabb ideig nézzük a halogén izzólámpa izzószállát). A látható fény általában nem okoz károsodást, mert a túlzottan erős fény hatására önkéntelenül is becsukjuk a szemünket vagy hunyorításal védekezünk. A gyakorlatlan ívhegesztőknél, akik, hogy jobban lássák a munkadarabot, nem használják folyamatosan a védőfelszerelésüket, azonban fellép. Jelenlegi ismeretek szerint [18] a fotokémiai károsodás létrejöttéhez minimális sugárdózis is elegendő. Ezt az irodalom 446 nm-nél 22 J/cm²-ben adja meg, bár úgy tűnik, legalább két hatással kell számolni: az egyik kisebb besugárzásoknál is fellép, ha azokat a szem éveken át kapja (a szemorvosok kék fényű vizsgáló lámpája), a másik nagyobb, rövidebb idejű expozíciók hatására lép fel (néhány pernyi vagy órányi besugárzás). Az egészséges szem hosszú idejű hatásszínképe hasonló a sötétben látásért felelős pálcikákban található fotopigment, a rodopszin elnyelési színképéhez. Azoknál a személyeknél, akiknek a szemlencséjét eltávolították és nem ultraibolya elnyelő műanyag lencsével helyettesítették (aphakiás szem), a photoretinitis az ultraibolya sugárzás hatására is fellép.

A photoretinitistől eltérő hatás a retinán égési sebet okozó besugárzás, amely fel-

léphet pl. lézersugárzás hatására, vagy bármely olyan sugárforrásra rátekinve, amely a retina kis területére képződik le.

Várható, hogy az itt bemutatott felismerések hatására a kék színek tartományban erősen sugárzó fényforrások használatához előírt védőfelszerelések UV és látható sugárzási előírásait szigorítani fogják.

A szürkehályog keletkezésének besugárzási okai [19]

Bizonyítottan tekinthető, hogy a szürkehályog kialakulását elősegíti az ultraibolya sugárzás, de az életkorral változik, hogy melyik hullámhossztartomány a legkárosabb. A fiatal szem a rövidebb hullámhosszakra érzékenyebb, az életkor előrehaladásával a szemlencse előtt levő rétegeknek a rövidhullámú sugárzást áteresztő képessége folyamatosan csökken, idősebb korban a rövidhullámú ultraibolya sugárzás már nem éri el a szemlencsét.

Az infravörös sugárzás szürkehályogot keltő hatásáról még keveset tudunk, a hatásfüggvényét még nem sikerült egyértelműen meghatározni. Egyes elméletek hőhatással, mások fotokémiai hatásokkal számolnak.

Az optikai sugárzás egyéb élettani hatásai

Az optikai sugárzásnak nemcsak károsító hatásai vannak. Az ultraibolya sugárzás kozmetikai célú használatáról (napágyak) a szakértők lebeszélnek, mert a bőr korai öregedését okozhatja. Egyes bőrbetegségek kezelésénél azonban eredményesen alkalmazható az optikai besugárzás. Az orvosi alkalmazások azonban külön tanulmányt igényelnének, ezekkel nem foglalkozunk. Szintén mellőzzük az optikai sugárzás baktériumölő hatásával kapcsolatos tanulmányokat. A sterilizálásnak hatékony módja lehet a rövid hullámhosszú optikai besugárzás. Hagyományosan alkalmazzák

a kórházak és a rendelőintézetek légterének csíramentesítésére az elsősorban a 254 nm-es hullámhosszon sugárzó, kis nyomású Hg-lámpát. Ilyenkor vigyázni kell arra, hogy a sugárzás ne érhesse az emberi szervezetet, főként a szemet, mert – mint láttuk – az UV-C tartományban sugárzott energia az emberi szervezetre is káros.

Az élettani hatások közül ki kell emelnünk az optikai sugárzásnak a napi ritmuskat megszabó és a neuroendokrin rendszerre gyakorolt hatását [20]. A szemből nem csupán a látóideg-kötegek vezetnek az agy felé, a retina ganglionsejtjeitől egy idegpálya vezet a hypothalamushoz, amelynek meghatározó szerepe van az ember napi életritmusának vezérlésében, testünk hőmérsékletének szabályozásában, érzelmi állapotunkban és még sok más élettani jelenségben. A napi ritmust jórészt a retinától érkező idegimpulzusok szabályozzák, bonyolult agyi folyamatok által befolyásolva a melatonin hormon kiválasztását. Az emlősök melatoninkiválasztása éjjel megnő, nappal stagnál. Ha a szemünket éjszaka erős fény-sugárzás éri, a melatonintermelés rövid idő alatt lecsökken. Különböző állatfajokban a melatonin hatása kissé eltérő. Az emberben többek között hat a testhőmérsékletre, az alváásra és az immunrendszerre.

Az optikai sugárzás melatoninkiválasztást vezérlő hatásspektrumát nem ismerjük pontosan, de valószínű, hogy legerősebben a 450–550 nm közötti tartomány hat. Ez is alátámasztja azt a nézetet, hogy a vezérlést a pálcikák fényérzékeny anyaga, a rodopszin közvetíti, bár találkozunk olyan dolgozattal is, amely szerint más testrészek optikai ingerlésének is hasonló hatása lehet [21]. Többben sikerrel alkalmazták a szervezet napi órájának átállítását egy transzkontinentális repülőút után az új napi időnek megfelelő erős fénybesugárzással.

Nem csupán a napi élettani ritmusra van hatással az optikai sugárzás, de pl. hat

az évszakok változása során a nappalok és éjszakák hosszának ingadozása által is. Vannak erre érzékeny emberek, akiknek a nappalok rövidülése depressziót okoz (az angol Seasonal Affective Disorder-ből SAD rövidítéssel jelzett rendellenesség). Ennek kezelésére is sikerrel alkalmazzák a kékese-zöld színű fényvel való besugárzást [22]. Ma még tisztázatlan, hogy e kezelés hatásmechanizmusa azonos rendszeren keresztül működik-e, mint a cirkadikus és a neuroendokrin rendszer optikai vezérlése.

A jelentős, korai hazai alkalmazás miatt említjük meg az újszülött sárgaság (hyperbilirubinemia) elleni optikai besugárzást, amely esetenként az újszülöttek agyi károsodását is okozó bilirubin kiválasztást befolyásolja. Az újszülött vérében feldúsuló bilirubint optikai besugárzással *in vivo* le lehet bontani olyan vegyületekké, amelyeket a szervezet már ki tud üríteni. Hatékonyan tűnik a bilirubin és az albuminhoz kötött bilirubin abszorpciós sávjában (440 nm, illetve 470 nm) történő besugárzás [23].

Az optikai sugárforrások élettani hatásokkal kapcsolatos jellemzése

Láthattuk tehát, hogy mind a Nap, mind az ember által készített sugárforrások befolyásolják életünket. A fényforrásokat elsősorban a jobb látási körülmények megteremtésére vagy valamilyen optikai hatás létrehozása érdekében fejlesztették. A hagyományos izzólámpák nem hordoztak élettani veszélyt, mert kicsiny volt a teljesítményük és nem sugároztak az ultraibolya színképtartományban. A nagyobb teljesítményű és különösen az izzólámpa színképétől nagyon eltérő spektrumú, a gázkisülés elvén működő lámpák azonban felvetették a fényforrások élettani hatásával kapcsolatos vizsgálatok igényét, hogy szükség esetén figyelmeztessék a felhasználókat a fényforrások veszélyes sugárzására.

Az e témával foglalkozó első közlemények egy-egy fényforrástípus kérdését tárgyalták (lásd pl. [12, 24, 25]). A sugárforrások átfogó élettani jellemzését először a lézerek területén végezték el [26]. Ez a szabvány foglalkozik pl. az előadási mutatópálcák helyett használt félvezető lézeres jelzőkészülékekkel is. Egyesek megkísérelték ennek a szabványnak a szellemét ráerőltetni az inkoherens sugárzású világító diódákra is, noha az ezek által a retinán keltett kép egészen más jellegű, mint egy lézer képe. Csak az elmúlt évtizedben dolgozták ki a legfejlettebb ipari országokban a fényforrások sugárzásával kapcsolatos nemzeti fotobiológiai szabványokat. Ezek tapasztalatait és legfontosabb pontjait foglalja össze a CIE által készített áttekintés [27] és szabványtervezet [28].

Ez a szabványtervezet összefoglalja a terület definícióit, jelöléseit és rövidítéseit; áttekinti a megengedhető dózisokat, figyelembe véve a számításba jövő pupillaátmérőt, a fényforrás észlelt méretét (térszögét), majd rögzíti az aktinikus és termikus sugárzás veszélyét mind a bőrre, mind a szemre az ultraibolya, a látható és az infravörös színek tartományában. Rögzíti a határértékek megállapításához szükséges mérési feltételeket, majd ezek alapján bevezeti a különböző fényforrások veszélyességi csoport (Risk Group) szerinti osztályozását az alábbiak szerint:

- veszélyt nem jelentő csoport
- kis veszélyességű: RG-1
- közepes veszélyességű: RG-2
- veszélyes: RG-3

A szabvány minden csoporthoz megadja, hogy az alábbi hatásfüggvényeket figyelembe véve mekkora teljesítmény engedhető meg adott távolságban a fényforrástól, rögzítve a besugárzás megengedhető időtartamát is.

- aktinikus UV
- közeli UV
- kék fény
- kék fény, kis sugárforrás esetén
- retinális termikus hatás
- retinális termikus hatás, kis látható inger esetén
- a szemet érő infravörös besugárzás

Várható, hogy a jövőben az egyes fényforrások csomagolásán a gyártónak fel kell majd tüntetnie, hogy terméke melyik veszélyességi csoportba tartozik.

Összefoglalás

Az elektromágneses színek optikai tartományának élettanilag fontos hatásai vannak azon túl is, hogy ebben a sávban „működik” az ember látása. A hatások lehetnek pozitívak és negatívak. Míg régebben csak az ultraibolya színek rövidhullámú tartományát tekintették veszélyesnek, mert baktericid hatásán kívül az emberi szervezet sejtjeit is pusztítja, napjainkban tudjuk, hogy a hosszabb hullámú ultraibolya sugárzás is lehet káros. Ma már közismert, hogy az „egészségesen” barna bőr nem föltétlenül előnyös. A túlzott napozás a bőr korai öregedését okozhatja, és növeli a bőrrák kialakulásának veszélyét.

A szemet érő ultraibolya fény, sőt a látható sugárzás rövidebb hullámhosszú része is lehet veszélyes. Mind a szem külső rétegeit, mind a retinát károsíthatja. Az optikai sugárzással nemcsak környezetünk számos más szennyezése miatt kell körültekintően bánnunk, de egészségünk megóvása érdekében is.

Várható, hogy a napsugárzás veszélyességének meghatározására bevezetett UV-index mellett a mesterséges fényforrások jellemzésére is bevezetik a veszélyességi osztályokat, s jelzésüket a jövőben a fényforrások csomagolásán is feltüntetik.

Kulcsszavak: *optikai sugárzás, látható sugárzás, sugárzások hőhatása, fényforrások, elektromágneses színekép, ózon-pajzs, aktinikus hatásspektrum, UV-sugár-*

zás, infravörös sugárzás, napozás, erythema, bőrrák, photoretinitis, szürkehályog, fotobiológiai szabványok

IRODALOM

1. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1987) International Lighting Vocabulary. CIE 17.4
2. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1999) Standardization of the terms UV-A1, UV-A2 and UV-B. CIE 134/1
3. Bernhardt, J. H., (1998) ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 3–11, CIE x016
4. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) A proposed global UV index. CIE 138/4
5. Coohill, T. P. (1998) *Photobiological action spectra – what do they mean*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 27–39, CIE x016
6. Hausser, K.W., Vahle, W., (1927) *Die Abhängigkeit des Lichterythems und der Pigmentbildung von Schwingungszahl (Wellenlänge) der erregenden Strahlung*. Strahlentherapie 6 101–120
7. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1998) Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. CIE Standard CIE S 007/E
8. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1993) CIE Research Note: Reference action spectra for ultraviolet induced erythema and pigmentation of different human skin types. CIE Technical Collection 103/3
9. Cesarini, J-P., (1998) *Ultraviolet action spectra for photosensitization*. Lásd Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 81–91, CIE x016
10. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) Action spectrum for photocarcinogenesis (non-melanoma skin cancers). CIE 138/2
11. Beral, V., Evans, S., Shaw, H., Milton, G., (1982) *Malignant melanoma and exposure to fluorescent lighting at work*. The Lancet 290–293
12. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1988) CIE Research Note: Malignant melanoma and fluorescent lighting, CIE-Journal 7 29–33
13. *International Agency for Research on Cancer*, (1992) Solar and ultraviolet radiation. Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans, IARC 55, Lyon
14. De Gruijl, F. R., (1998) *Ultraviolet action spectra for skin carcinogenesis*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 93–104, CIE x016
15. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1986) CIE Research Note: Photokeratitis. CIE-Journal 5/1 19–23 (lásd még CIE 106/2–1993).
16. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1986) CIE Research Note: Photoconjunctivitis. CIE-Journal 5/1 24–28 (lásd még CIE 106/3–1993).
17. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1999) CIE TC 6–30 Report: UV protection of the eye. CIE 134/2
18. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) CIE TC 6–14 report: Blue-light photochemical retinal hazard. CIE 138/1
19. Cullen, A. P., (1998) *The lens – ultraviolet and infrared action spectra for cataract acute in vivo studies*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 159–171, CIE x016
20. Brainard, G. C., Greeson, J. M., Hanifin, J. P., (1998) *Action spectra for circadian and neuroendocrine regulation in mammals*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 131–142, CIE x016
21. Campbell, S. S., Murphy, P. J., (1998) *Extraocular circadian phototransduction in humans*. Science 279 (5349) 396
22. Stewart, K. T., Gaddy, J. R., Byrne, B., Miller, S., Brainard, G. C., (1991) *Effects of green or white light for treatment of seasonal depression*. Psychiatry Research 38/3 261–270
23. Wolbarsht, M. L., (1998) *Action spectra for treatment of hyperbilirubinemia – monitoring meters*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 353–368, CIE x016
24. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1993) Biologically effective emissions and hazard potential of desk-top luminaires incorporating tungsten halogen lamps. CIE Technical Collection CIE 103/4
25. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1990) Photobiological effects of sunlamps. CIE 89
26. *International Electrotechnical Commission*, (1993) Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide, IEC 825–1
27. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1999) CIE TC6–38 report: Recommendation on photobiological safety of lamps. A review of standards. CIE 134/3
28. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) Photobiological safety of lamps and lamp systems. CIE draft standard CIE DS 009.1/E