

Mobileszköz-alapú gyermekkori látásszűrés a tompalátás korai felismerésére

Csizék Zsófia dr.^{1, 4} ■ Budai Anna dr.¹ ■ Nemes Vanda Ágnes dr.^{1, 5}
Hegyi Péter¹ ■ Szabó István dr.^{1, 5} ■ Pusztai Ágota dr.²
Piñero David P. dr.³ ■ Jandó Gábor dr.^{1, 5} ■ Mikó-Baráth Eszter dr.^{1, 5}

¹Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Élettani Intézet, Pécs

²Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Klinikai Központ, Szemészeti Klinika, Pécs

³Department of Optics, Pharmacology and Anatomy, University of Alicante, Alicante, Spain

⁴Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Gyermekgyógyászati Klinika, Budapest

⁵Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Idegtudományi Centrum, Pécs

Bevezetés: Az amblyopia vagy tompalátás binokuláris eredetű fejlődési zavar, amelyet a legtöbbször egy szemet érintő, lencsével nem korrigálható látásromlásként definiálnak. Magas prevalenciájával világszerte népegészségügyi problémát jelent, így a kisgyermekkorú látásszűrés fontos célja az amblyopia megelőzése.

Célkitűzés: Célunk egy mobilapplikáció-alapú térlátásvizsgáló teszt (EuvisionTab® sztereoteszt, ETS) értékelése, mellyel a tompalátás és rizikófaktorai (kancsalság, törési hibák) időben kiszűrhetők.

Módszer: Vizsgálataink során nemzetközileg ismert klinikai sztereoteszteket (Lang II, TNO, Stereo Fly, Frisby) hasonlítottunk össze az EuvisionTab sztereoteszt különböző verzióival gyermekek körében (n = 453, átlagéletkor: 7,45 év). A random pontokból álló EuvisionTab sztereoteszt esetén 4 különböző beállítást alkalmaztunk, a dinamizmust, a pontsűrűséget (denzitást), illetve a vizuális zajt változtatva. A tesztek hatékonyságát 'receiver-operating characteristic' (ROC) módszerrel értékeltük, melynek legfontosabb mérőszáma a görbe alatti terület (AUC).

Eredmények: Az EuvisionTab sztereotesztek nagy szenzitivitásának bizonyultak a klasszikus klinikai tesztekhez viszonyítva, specifitásuk viszont több esetben elmaradt tőlük. Az amblyopia esetében a legjobb szenzitivitást (91%) a kis denzitású, vizuális zajt tartalmazó dinamikus teszt érte el, míg a legjobb specifitásértéket (89%) a statikus nagy denzitású esetében kaptuk. A hagyományos klinikai tesztek közül a legjobb szenzitivitással (88%) a TNO rendelkezett, míg a legjobb specifitással (98%) a Lang-teszt. A ROC-analízis alapján minden alkalmazott sztereoteszt jó vagy kiválóan alkalmas (ROC-AUC>0,80) az amblyopia szűrésére, míg a kancsalság esetén a TNO, a Stereo Fly, valamint az EuvisionTab tesztek feleltek meg ennek a kritériumnak.

Következtetés: Az EuvisionTab sztereotesztek megfelelően bizonyultak az amblyopia szűrésére, nagy szenzitivitással rendelkeznek. A módszer további előnyei a véletlenszerű ingersorozat, a rugalmas paraméterbeállítások, a statisztikai alapú döntéshozatal, a kényelmes dokumentáció, valamint a könnyű és gyors kivitelezhetőség. Ezek alapján a legmodernebb látásszűrés protokoll részévé válhat.

Orv Hetil. 2024; 165(16): 620–628.

Kulcsszavak: térlátás, amblyopia, prevenció, sztereoteszt, EuvisionTab

Mobile device-based childhood vision screening for early detection of amblyopia

Introduction: Amblyopia, or lazy eye, is a developmental disorder of binocular origin, most commonly defined as vision impairment affecting one eye that cannot be corrected with lenses. With its high prevalence globally, it poses a public health concern, hence the important goal of early childhood vision screenings is the prevention and early treatment of amblyopia.

Objective: Our aim was to develop and evaluate a mobile application-based stereovision test (EuvisionTab® stereotest, ETS) to timely detect amblyopia and its risk factors (strabismus, refractive errors).

Method: In our study, we compared internationally recognized clinical stereotests (Lang II, TNO, Stereo Fly, Frisby) with the EuvisionTab stereotests in children (n = 453, mean age: 7.45 years). For the EuvisionTab stereotest consisting of random dots, four different settings were used, with altering dynamics, dot density, and visual noise. The effectiveness of the tests was evaluated using receiver-operating characteristic (ROC) analysis with area under the curve (AUC) being the most important measure.

Results: The EuvisionTab stereotests showed high sensitivity compared to classical clinical tests, but their specificity lagged behind in some cases. For amblyopia, the dynamic test with low density and visual noise achieved the best sensitivity (91%), while the static test with high density achieved the best specificity (89%). Among the traditional clinical tests, TNO had the best sensitivity (88%), while the Lang test had the best specificity (98%). According to ROC analysis, all applied stereotests are good or excellently suitable ($\text{ROC-AUC} > 0.80$) for amblyopia screening, while for strabismus, TNO, Stereo Fly, and EuvisionTab stereotests met this criterion.

Conclusion: EuvisionTab stereotests have proven to be suitable for amblyopia screening, exhibiting high sensitivity. Additional benefits of the method include random stimulus sequences, flexible parameter settings, statistical decision-making, convenient documentation, and easy and fast implementation. With these advantages, it has the potential to become an integral component of state-of-the-art vision screening protocols.

Keywords: stereovision, amblyopia, prevention, stereotest, EuvisionTab

Csizék Zs, Budai A, Nemes VÁ, Hegyi P, Szabó I, Pusztai Á, Piñero DP, Jandó G, Mikó-Baráth E. [Mobile device-based childhood vision screening for early detection of amblyopia]. *Orv Hetil.* 2024; 165(16): 620–628.

(Beérkezett: 2024. február 12.; elfogadva: 2024. február 27.)

Rövidítések

AUC = (area under the curve) a görbe alatti terület; DRDS = (dynamic random dot stereogram) dinamikus randompont-sztereogram; ETS = EuvisionTab® sztereotest; RDS = (random dot stereogram) randompont-sztereogram; ROC = (receiver operating characteristic) vevő működési karakterisztika; SRDS = (static random dot stereogram) statikus randompont-sztereogram; ÚNKP = Új Nemzeti Kiválóság Program

A kétszemes térlátás (stereopsis) lehetővé teszi a legpontosabb mélységérzékelést, mely a térbeli tájékozódás egyik alappillére. A térbeli érzékletet az agykéreg hozza létre a szembe vetülő két független kép eltérő nézőpontjának összehasonlításával. Postnatalis kialakulása az idegrendszer tapasztalatfüggő fejlődésének klasszikus példája [1]. A binokuláris szelektív ingerekre reagáló elektromos kérgi potenciálok a 3–6. postnatalis hónapban jelennek meg [2, 3], ezt követi a sztereo-látásélesség gyors javulása [4]. Az agykéreg egészen 6–9 éves korig plasztikus marad, és folytatódik a látórendszer finomhangolása, érése. A binokuláris fejlődés korai szakaszában bekövetkező, fel nem ismert tekintési vagy fénytörési rendellenességek kettős látás révén akadályozzák a binokularitás agykérgi fejlődését. A kettős látás zavarja a környezettel való interakciót, ezért az interakcióhoz nem hasznosítható oldali szem szuppresszió alá kerül. Ez a mechanizmus az adott szemhez tartozó látásélesség tartós csökkenését okozza, további következmény a térlátás csökkenése vagy teljes hiánya [5]. Számos, a vizuális percepcióhoz kapcsolódó magasabb szintű kognitív, motoros vagy pszichés folyamat is érintett lehet [6–10]. A kialakult kórkép az amblyopia, mely népbetegség, prevalenciája világszerte igen magas (1–5%) [11–16]. Legfőbb rizikótényezői – az ún. amblyogen faktorok – a kancsalság (strabismus) [17] bármely típusa, a két szem közötti nagyfokú látásélesség-különbség (anisometropia) [18] és a távollátás (hypermetropia) [19]. Az

amblyogen tényezők bármelyike vagy kombinációja elindíthatja az interokuláris szuppressziót.

Az amblyopia kezelése a konvencionális módszerekkel 7–9 éves korig a leghatékonyabb [20], ezért elengedhetetlen a szűrővizsgálatok időben történő elvégzése. Ennél idősebb korban vagy felnőtteknél az ún. perceptuális tanulás vezethet eredményre [21, 22].

A 0–18 éves korosztály látásfejlődésének követésére Magyarországon az Egészségügyi Minisztérium szakmai irányelveket dolgozott ki, a 3 éves kor felett évenként végzett szűrést az Országos Egészségbiztosítási Pénztár (jogutód: Nemzeti Egészségbiztosítási Alapkezelő) a törvényi előírások szerint finanszírozza. A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján (https://www.ksh.hu/statdat_files/nep/hu/nep0006.html) – figyelembe véve, hogy a 3–7 éves amblyopia-rizikó csoportban a vizsgálat ismétlése évenként javasolt – ez a 2023-as évben közel 456 000 vizsgálatot jelentett. Abban az esetben, ha a szűrések és a kezelés az irányelvben előírt módon megvalósulnának – 2,5%-os prevalenciával és 75%-os kezelési hatékonysággal számolva [23, 24] – egy évben körülbelül 1500–2000 amblyopia lenne megelőzhető. A tompalátás teljes népességre vonatkozó aktív szűrése és korai felismerése azonban részben a humán erőforrás-hiány, részben pedig a jelenleg használt tesztek gyenge hatékonysága miatt nem megoldott. Hazánkban a tompalátás szűrését többnyire a védőnők és a házi gyermekorvosok végzik az alapellátásban. A szűrés alappillére a monokuláris látásélességi vizsgálat, melyre nincs egységes módszer. Eredménye nagyban függ az alkalmazott visustáblától, a vizsgálati körülményektől és a gyermek életkorától. Összességében a látásélesség-vizsgálat 3–5 éves korban nem kellően megbízható. A térlátás vizsgálatára néhány helyen elérhető valamilyen kártyaalapú sztereolátásteszt (általában Lang I. vagy II.). A kártyán felismerendő figurákat a gyermekek megjegyezhetik, ami nagyobb csoport vizsgálatokhoz vagy utánkövetés esetén problémát jelent. Ezek a mérések sok helyen kiegészül-

nek a szemmozgás vizsgálatával és a kancsalsági tesztekkel (Brückner- és 'cover' [takarásos] tesztek), melyek megfelelő értékelése nagy tapasztalatot igényel. Gyermekeknél általánosan elvégzett szakorvosi szűrésre csak bizonyos régiókban vagy rizikótényezők esetén van lehetőség. Mindemellett azt is fontos kiemelni, hogy nemzetközi tanulmányok alapján a speciális képzettségű gyermekszemészek és optometristák által végzett szűrési kampányok nem költséghatékonyak [25].

Munkacsoportunk célja egy olyan hatékony szűrő-módszer kidolgozása, mellyel az amblyopia és az amblyopiához vezető rizikótényezők korán felismerhetők, de alkalmazása nem igényel szakképzett munkaerőt. Ennek érdekében munkacsoportunk évek óta fejleszti az EuvisionTab (EuvisionTab®, Euvision Kft., Pécs; <https://tab.euvision.hu/>) sztereotesztet (ETS), mely mobil-eszközön alkalmazható, felhőalapú látásszűrő rendszer (*I. ábra*) [26].

Az általunk alkalmazott módszer a Julesz Béla-féle randompont-sztereogramokon (RDS) alapul [27]. Lényegében a két szembe vetülő véletlen pontfelhő közötti különbségek hozzák létre a mélység érzetét. Ép térlátású személy a monitoron megjelenített random pontok síkjából kiemelkedő alakzatként érzékeli a fent említett különbségeket (például Snellen E). Az érzéklet csak anaglif (vörös-zöld) szemüveggel nézve jön létre. Egy-egy szemmel vagy szemüveg nélkül csak random ponthalmaz látható. A kiemelkedés mértéke az ún. diszparitás, mértékegysége az ívmásodperc (").

Az ETS egy digitális rendszer, melyben az RDS-ek számos paraméterét könnyen tudjuk módosítani. A jelen munkában 3 paramétert változtattunk: 1) a dinamizmust: az RDS-t alkotó pontok lehetnek statikusak vagy dinamikusan frissülők. Ennek megfelelően alkalmaztunk statikus randompont-sztereogramot (SRDS) és dinamikus randompont-sztereogramot (DRDS). Ha minden más paraméter állandó, akkor a pontok mozgása miatt a dinamikus ingerek felismerése nehezebb, és feltehetően a térlátás más aspektusait igényli. 2) Az RDS-t alkotó pontok különböző denzitását (ingert alkotó pontok sűrűsége, amelyet a fekete háttér előtt megjelenő színes pontok %-ában adunk meg) alkalmaztunk. Minél nagyobb a denzitás, annál könnyebben felismerhetők a sztereoingererek. 3) Nem korrelált vizuális zajt tartalmazhattak a stimulusok. A zaj hozzáadása szintén nehezíti az inger felismerhetőségét [26, 28]. A paraméterek módosításával tehát különböző nehézségű tesztet hozhatunk létre, amelyek elvben alkalmasak lehetnek a térlátás különböző fokú zavarainak detektálására vagy különböző célcsoportok vizsgálatára (például kisgyermekesek vs. idősek).

Jelen kutatásunk fő célja az EuvisionTab térlátásvizsgáló modul szenzitivitásának és specifikitásának meghatározása, illetve összehasonlítása a nemzetközi klinikai gyakorlatban elterjedt papíralapú sztereotesztekével (Lang II., TNO, Stereo Fly és Frisby) amblyopia és amblyogen állapotok felismerése céljából.

Módszerek

Keresztmetszeti vizsgálatunk 2016 és 2019 között összesen 474 gyermek (életkor: 4–15 év, átlag: 7,45 év) részvételével zajlott, egy nemzetközi kollaborációnak köszönhetően két centrumban: Alicantében (Vithas Medimar International Hospital of Alicante, Spanyolország) és Pécssett (Pécsi Tudományegyetem, Klinikai Központ, Szemészeti Klinika). A jelen munkában amblyopiával és különböző amblyogen eltéréssel rendelkező (strabismus, anisometropia, hypermetropia), valamint életkorban illesztett, egészséges (kontrollcsoport) gyermekek adatait közöljük. Különböző okokból (komorbiditás, kooperáció hiánya) 21 gyermeket zártunk ki, így a statisztikai elemzés során 453 gyermek adatait dolgoztuk fel. Azon gyerekek eredményeit, akik rövidlátók voltak, és a myopia nem társult kancsalsággal, anisometropiával vagy astigmatiával, a jelen közleményben nem részletezzük. Ennek oka az, hogy önmagában a myopia nem rizikótényező az amblyopia szempontjából, és a térlátás zavarával sem társul.

A vizsgálatok mindkét centrumban regionális kutatás-etikai engedéllyel zajlottak (Pécs, PTE 6301/2016, Alicante: UA-2017-03-20). A vizsgálatok előtt a szülőket és a gyermekeket szóban és írásban egyaránt tájékoztattuk, a szülők vagy gondviselők adatkezelési és beleegyező nyilatkozatot írtak alá.

A gyermekszemészeti vizsgálatokat Spanyolországban optometrista szakemberek, míg Magyarországon gyermekszemész szakorvosok végezték el. A vizsgálat részei a következők voltak: a legjobb korrigált visus meghatározása, retinoszkópia, ortoptikai tesztek ('cover', Brückner-teszt, corneafényreflex-teszt, szemmozgások, pupillareakció). Amennyiben pupillatágításban végzett szkiaskópia volt szükséges (például hypermetropia esetén a refrakció pontos megállapítására), az mindig a sztereotesztek elvégzését követően történt. A gyermekek betegség szerinti besorolását a szemészeti vizsgálat során kapott diagnóziskód alapján végeztük el. Törekedtünk arra, hogy a két centrumban egységes metodikát és diagnosztikus kritériumrendszert alkalmazzunk.

A sztereoteszteket (*I. táblázat*) mindkét vizsgálati helyen munkacsoportunk tagjai végezték el, törési hiba esetén a gyermekek viselték a korrekciós szemüvegüket. A konvencionális teszteket (Lang II., TNO, Stereo Fly és Frisby) jól megvilágított helyiségben, randomizált sorrendben, egységesen 40 cm vizsgálati távolságból végeztük el, a gyártói előírásnak megfelelően (*I. táblázat*). A Lang II és a TNO tesztek az ETS-hez hasonlóan szintén randompont-sztereotesztek, míg a Stereo Fly kontúr sztereogram, a Frisby sztereoteszt esetén pedig a diszparitást valódi mélység hozza létre. A megfigyelő a tesztlap síkjából egyre kisebb mértékben kiemelkedő (fokozatosan csökkenő diszparitású) alakzatot láthat. A klinikai sztereotesztek diszkriminációjának alapja (tehát az a mód, ahogy elkülöníti az ép és a csökkent sztereolátású személyeket) az a legkisebb diszparitású alakzat, amelyet

1. táblázat | A vizsgálatban alkalmazott sztereotesztek jellemzői

	Gyártó	Optotípus	Inger típusa	Vizsgálati távolság (cm)
Lang II.	Lang Stereotest AG, Forch, langstereotest.com	csillag, elefánt, autó, hold	Randompont-sztereogram	40
TNO	Lameris Ootech BV, ootech.nl	„pac-man”	Randompont-sztereogram	40
Frisby	Frisby Stereotest TM, frisbystereotest.co.uk	körök	Valós mélységgel rendelkező inger	40
Stereo Fly	Stereo Optical Company, INC., stereooptical.com	körök	Kontúr sztereogram	40
Euvision Tab SRDS 8% DRDS 1% DRDS 0,7% DRDS 1% + zaj	Euvision Ltd., Pécs, Hungary	Snellen E	Randompont-sztereogram	25

DRDS = dinamikus randompont-sztereogram; SRDS = statikus randompont-sztereogram

a vizsgálati személy még egyértelműen felismer és helyesen meghatároz (diszparitásküszöb).

A vizsgálati ülések során utolsóként végeztük el az ETS-vizsgálatot, egy teljesen elsötétített helyiségben. A vizsgálatához Samsung Galaxy Tab A (Samsung, Suwon, Dél-Korea) és bq Aquaris M10 tabletet (BQ, Madrid, Spanyolország) használtunk, a vizsgálat azonban bármely tableten vagy okoseszközön elvégezhető. A vizsgálati távolság 25 cm, az ingerek diszparitása ebből a távolságból egységesen kb. 840" volt. Itt tehát a hagyományos tesztekkel ellentétben nem diszparitásküszöböt mértünk, hanem különböző mérési kondíciók esetén határoztunk meg találati arányt. Az ETS-ben 4 különböző beállítást alkalmaztunk: 1) a nagy denzitású statikus teszt (SRDS 8%), illetve 3 különböző dinamikus teszt: 2) kis (DRDS 1%), 3) nagyon kis (DRDS 0,7%), valamint 4) kis denzitású, 0,5% korrelálatlan zajjal kombinálva (DRDS 1% + zaj).



1. ábra | EuvisionTab vizsgálati szituáció. A vizsgálatot elindítva egy 5 éves gyermek akár egyedül is végig tudja csinálni. A tablet kijelzőjén szemüveg nélkül is felismerhető kontrollábra látható, hogy az olvasó nyerjen némi betekintést a vizsgálati helyzetbe (a szülő engedélyével közölve)

A mérés során a gyermeknek összesen 24 db random orientációjú Snellen E betű irányát kellett meghatározni vörös-zöld szemüveget viselve, 4 lehetőséget kínálód kötelező választásos paradigmában. Ez 20 tesztigert tartalmazott, a következő felosztásban: 5 db 8% SRDS, 5 db 1% DRDS, 5 db 1% DRDS zajjal, 5 db 0,7% DRDS, valamint beágyazva 4 monokuláris kontrolligert. A monokuláris kontrollalakzatok egy szemmel vagy sztereolátás hiányában is könnyedén észlelhetők, funkciójuk a figyelem fenntartása és a kooperáció ellenőrzése (1. ábra). A vizsgálat elvégzése előtt is meggyőződünk arról, nem sztereo E betűk segítségével, hogy a gyermek érti a feladatot. A válaszadás idejét nem korlátoztuk, ugyanakkor azok a gyerekek, akik értették a feladatot, és jól látták az ingereket, kb. 5 mp-en belül megjelölték a helyes irányt. Az egyes inger típusok esetén az ROC analízis által megadott optimum küszöbértékeket alkalmaztuk.

A teljes vizsgálat nagyjából 30–40 percet vett igénybe a következő bontásban: szemészeti vizsgálat: 15–20 perc, klinikai sztereotesztek: 10–15 perc, ETS: 4–7 perc.

Az adatfeldolgozást MedCalc® 20.211 szoftverrel (MedCalc Software Ltd., Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2023) végeztük. Minden alkalmazott sztereotesztet 3 mérőszámmal jellemeztünk a vizsgált kórállapotok szerint: 1) ROC- (receiver operating characteristic) analízis által meghatározott AUC- (area under the curve – görbe alatti terület) érték, 2) szenzitivitás és 3) specificitás a ROC-optimumküszöb mellett. A ROC-analízis egy diagnosztikus teszt (bináris osztályozási modell) esetén azt értékeli, hogy különböző küszöbértékeknél hogyan képes elkülöníteni az egészségeset a betegtől. Minden küszöbhez meghatározza a specificitást és a szenzitivitást. Amennyiben az AUC szignifikánsan ($p < 0,05$) meghaladja a 0,5-ös értéket, akkor az adott vizsgálóeljárás (teszt) képes elkülöníteni a vizsgált betegséggel rendelkező egyéneket az emmetro-poktól. Minél közelebb van az AUC-érték a teoretikus maximumhoz (1,0), annál jobb ez a klasszifikációs képesség [29].

Eredmények

A kontroll- (emmetrop) csoportba a gyermekek 47,6%-a (n = 216) került. A vizsgálati csoportban (n = 237) lévő gyermekeket a következő alcsoportokba soroltuk betegségek szerint: 10% amblyopia (n = 46), 10,5% strabismus (n = 48), 9,9% anisometropia (n = 45), 37% hypermetropia (n = 168), 10% myopia (n = 46), 27% astigmia (n = 124). Fontos megemlíteni, hogy számos átfedés volt a betegségek között: például az a gyermek, aki tompalátó volt, az etiológia okán minden bizonnyal a hypermetropia- és/vagy a strabismus csoportba is bekerült. Mivel elsődleges célunk a maradandó látásromlás megelőzése, az adatok értékelése során az amblyopiára és az amblyogen diagnózisú csoportokra fókuszáltunk, így az alábbiakban ezeket az eredményeket részletezzük.

A tesztek 3 mérőszámmal jellemeztük: a szenzitivitással, a specificitással és az AUC-értékekkel, melyeket minden kórállapotban külön vizsgáltunk (2. táblázat).

Általánosságban elmondható, hogy az ETS-ek igen nagy szenzitivitásképpel (amblyopia esetén: 77–91%) rendelkeznek. A specificitás tekintetében minden esetben a Lang II. sztereoteszt teljesített a legjobban (95–98%), míg a DRDS-teszt specifikitása jellemzően kisebb volt (64–76%). Az amblyopia esetében a legjobb szenzitivitást (91%) a kis denzitású vizuális zajt tartalmazó dinamikus ETS-sel értük el, míg a legjobb specificitásképpel (89,5%) a statikus nagy denzitású esetében kaptuk. A korábban ismert sztereotesztok közül a legjobb szenzitivitással (88%) a TNO rendelkezett. Az amblyogen faktorok közül a strabismus esetén a legjobb szenzi-

tivitást (86%) a nagyon kis denzitású dinamikus ETS-nél láttuk, míg anisotropiánál a kis denzitású dinamikus ETS-nél (71%), hypermetropiában pedig a kis denzitású vizuális zajt tartalmazó dinamikus ETS-nél (55%).

A ROC-analízis értékelésekor (2. táblázat és 2. ábra) – az általánosan elfogadott 0,80-as AUC-értéket határnak tekintve – minden alkalmazott sztereoteszt megfelelt az amblyopia szűrésére (0,81–0,92). Az amblyogen faktorok esetén két sztereoteszt (DRDS 0,7% és Stereo Fly anisometropia esetén) kivételével minden teszt eredménye szignifikánsnak ($p < 0,05$) bizonyult, és egy sztereoteszt teljesített kiválóan az AUC-érték alapján: a statikus nagy denzitású sztereoteszt strabismusban (0,92). Az ETS ROC-analízissel mért klasszifikációs képességét a papíralapú sztereotesztokkal *DeLong* módszerével összehasonlítva nem volt szignifikáns különbség ($p > 0,05$) az egyes betegségcsoportokon belül [29].

Megbeszélés

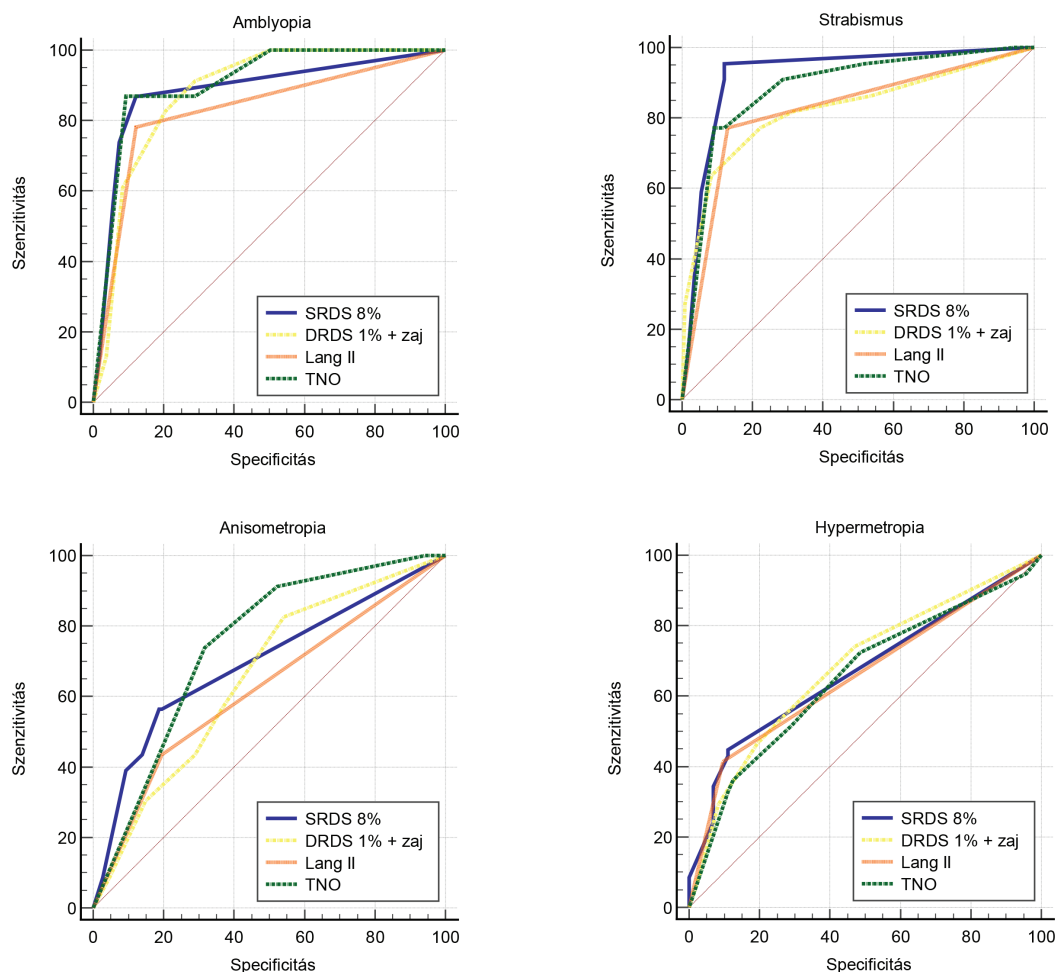
Jelen kutatásunkban a nemzetközileg ismert klinikai sztereotesztok szenzitivitását és specificitását hasonlítottuk össze a digitális ETS-ekével gyermekek körében az amblyopia és a különböző amblyogen állapotok (kansalság, hypermetropia, anisometropia) esetében.

Eredményeink a ROC-analízis tükrében azt igazolják, hogy a ETS-ek mindegyike alkalmas az egészséges és a beteg állapot diszkriminálására az összes vizsgált szemészeti diagnózis esetén: az ETS-ek ugyanolyan jók, mint a klinikailag alkalmazott sztereotesztok. Ugyanakkor egyes ETS-ek esetén a szenzitivitás, míg más tesztek esetén a

2. táblázat | A különböző sztereotesztok szenzitivitása, specificitása és AUC-értéke a 4 betegség esetén

Kórállapot	Paraméter	Lang II.	Frisby	TNO	Stereo Fly	SRDS 8%	DRDS 1%	DRDS 0,7%	DRDS 1% + zaj
Amblyopia	Szenzitivitás	57%	58%	88%	71%	77%	86%	87%	91%
	Specificitás	98%	94%	88%	71%	89%	69%	74%	71%
	AUC	0,81	0,83	0,92	0,90	0,89	0,86	0,86	0,88
	95% CI	0,712–0,905	0,735–0,916	0,856–0,982	0,831–0,970	0,797–0,972	0,779–0,934	0,782–0,937	0,819–0,943
Strabismus	Szenzitivitás	48%	54%	75%	64%	68%	66%	86%	81%
	Specificitás	97%	93%	81%	93%	89%	67%	73%	69%
	AUC	0,77	0,79	0,84	0,82	0,92	0,80	0,85	0,83
	95% CI	0,663–0,871	0,687–0,889	0,751–0,921	0,730–0,914	0,861–0,985	0,681–0,917	0,754–0,942	0,711–0,938
Anisometropia	Szenzitivitás	29%	40%	68%	30%	58%	71%	48%	57%
	Specificitás	95%	91%	80%	89%	86%	67%	65%	64%
	AUC	0,61	0,69	0,74	0,64	0,69	0,66	0,60	0,65
	95% CI	0,500–0,714	0,590–0,795	0,654–0,833	0,528–0,756	0,563–0,824	0,534–0,791	0,477–0,728	0,536–0,770
Hypermetropia	Szenzitivitás	16%	31%	40%	33%	30%	45%	53%	55%
	Specificitás	98%	96%	84%	96%	91%	70%	76%	72%
	AUC	0,64	0,67	0,67	0,72	0,67	0,68	0,68	0,68
	95% CI	0,566–0,717	0,600–0,748	0,597–0,744	0,646–0,787	0,575–0,767	0,581–0,770	0,585–0,773	0,588–0,770

AUC = a görbe alatti terület; CI = konfidenciaintervallum; DRDS = dinamikus randompont-sztereogram; SRDS = statikus randompont-sztereogram



2. ábra

A ROC-analízis során kapott görbék amblyopia, strabismus, anisometropia és hypermetropia esetén. Míg a hagyományos tesztek közül a Magyarországon leginkább használt Lang II., illetve a leghatékonyabb nemzetközi teszt, a TNO, az ETS-tesztek közül a két leghatékonyabb került az ábrára

ETS = EuvisionTab sztereoteszt; DRDS = dinamikus randompont-sztereogram; ROC = vevő működési karakterisztika; SRDS = statikus randompont-sztereogram

specifitás a kiemelkedő. Mivel az amblyopia csak bizonyos életkorig kezelhető, fontos, hogy minden amblyop vagy amblyogen esetet időben felismerjünk. Ezért a nagy szenzitivitást sokkal fontosabbnak tartjuk, mint a specifitást [30]. Mindemellett tudjuk, hogy a specifitás sem elhanyagolható, mert a kis specifitás pluszterhet ró az egészségügyi ellátórendszerre.

Bár jelen kutatásunkban az amblyopia és az egyes amblyogen tényezők esetén az ETS-ek elsősorban a szenzitivitás tekintetében bizonyultak jobbnak a klinikumban jelenleg is használt legtöbb teszténél, a hosszú távú cél a minél jobb szenzitivitás és specifitás egyetlen, jól megválasztott ingersor segítségével, a lehető legrövidebb vizsgálati idő alatt.

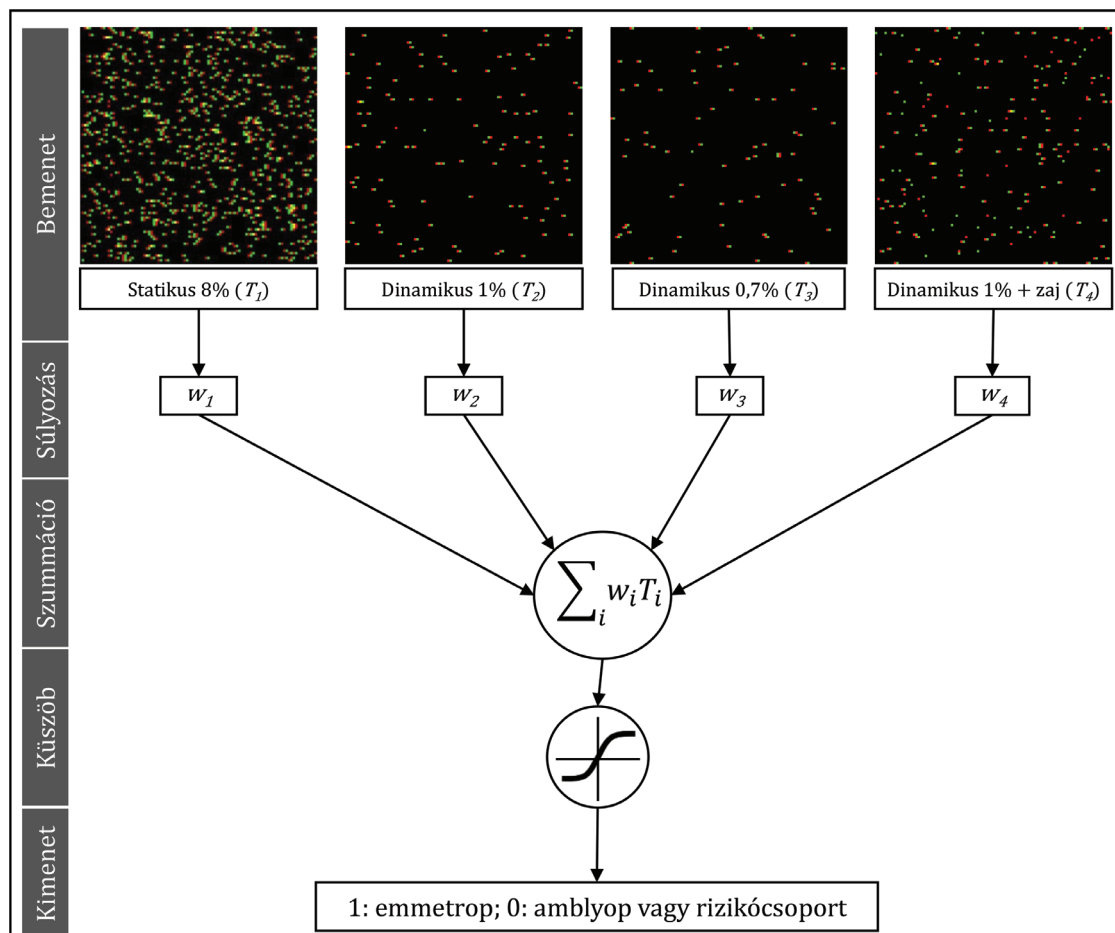
A jelenleg széles körben alkalmazott sztereotesztek egytől egyig a sztereo-látásélesség (diszparitásküszöb) mérésén alapulnak, köztük a kutatásunkban kiválasztott tesztek is (Lang II., TNO, Stereo Fly, Frisby). A Pécsi Tudományegyetemen fejlesztett ETS-ek ezzel szemben nem támaszkodnak a sztereo-látásélesség mérésére (emiat a pontos vizsgálati távolság betartása sem szükséges),

hanem egyéb paraméterek változtatása révén (dinamizmus, denzitás, korrelálatlan zaj hozzáadása) nehezítik a felismerést. Korábbi méréseink is bizonyították már, hogy a kis denzitású RDS nagy szenzitivitással képes szűrni az amblyopiát [26].

Jelen kutatásunkban a változtatható paraméterek mellett a szemészeti diagnózisokra fókuszáltunk, ennek következtében az amblyopia, a kancsalság, az anisometropia és a hypermetropia átfedő csoportokat alkottak. Például egy kancsal és amblyop gyermek bekerült az amblyopia- és a kancsalságcsoportba is.

Az EuvisionTab további fejlesztési lehetőségei, a mesterséges intelligencia alkalmazása

Az átfedések elkerülése érdekében további kutatásunk során nem átfedő csoportokat hoztunk létre, így az amblyop gyerekek és az amblyogen, de nem amblyop gyerekek külön-külön csoportba kerültek, függetlenül az



3. ábra

A döntéshozatalhoz használt perceptron mesterséges neurális hálózat.

A tesztek hatékonyságának növelése céljából a 4 teszt – 1 statikus és 3 dinamikus teszt (T1..T4) – eredményét kombináltuk, és egy új változót hoztunk létre. Az új változó értékét a 4 különböző teszt találatának száma (bemenet) súlyozott ($w_1..w_4$) összegzésével, majd egy szigmoid transzferfüggvény segítségével hoztuk létre. A súlyok optimalizálására egy legkisebb négyzetes elven működő tanító algoritmust alkalmaztunk, amely minimalizálta a 100%-os érzékenységtől és specificitástól való eltérést. A tanítás célja az optimális súlyok megállapítása, amelyeket gyakran keverétparamétereknek neveznek, a perceptron neurális hálózat esetében. Végül a tesztek eredményének (0–5) a fent leírt algoritmussal képzett kimeneti értéke határozta meg, hogy az egyén átment-e, vagy megbukott a vizsgálaton. A kimenet 0 és 1 közötti értékeket vehetett fel. Az egyértelmű döntéshozatalhoz általában 0,5-öt használtunk küszöbértéknek.

amblyogen faktor eredetétől. A korábbiakhoz hasonlóan az emmetropok alkották a harmadik (kontroll) csoportot. Ez a felosztás jól megmutatta az elektronikus tesztek előnyét a hagyományos klinikai tesztekkel szemben. Míg az amblyopia esetében nem volt különbség a klasszikus és az elektronikus tesztek között a szenzitivitásban, addig kiderült, hogy az amblyogen állapotok felismerése szempontjából az elektronikus tesztek sokkal érzékenyebbek. A különbség különösen akkor volt jelentős, amikor a 4 sztereoteszt (SRDS 8%, DRDS 1%, DRDS 0,7% DRDS 1% + zaj) eredményét egy mesterségesintelligencia-modell (perceptron, 3. ábra) segítségével egyítettük, és így egy új döntéshozó változót hoztunk létre. Az új változó minden, általunk vizsgált hagyományos tesztnél (Lang II., TNO, Frisby, Stereo Fly) hatékonyabban azonosította az amblyopiát és az amblyogen állapotokat úgy, hogy a specificitás nem különbözött a többi vizsgált teszt specificitásától. Statisztikai eredményeink kiemelik, hogy a mesterségesintelligencia-alapú tesztek jelentősen nagyobb AUC-értékeket mutattak az amblyo-

pia és az amblyogen állapotok kimutatásában a hagyományos tesztekhez képest. Amikor a gyermekeket refrakciós korrekció nélkül vizsgáltuk (egy szűrési szituációhoz hasonlóan), a mesterségesintelligencia-alapú tesztekkel minden amblyopiás esetet sikerült azonosítani (szenzitivitás = 100%, AUC = 0,997) [28].

Digitális sztereotesztek fejlesztésével jelenleg is több kutatócsoport foglalkozik 3D megjelenítésű monitort alkalmazva, e monitorok nagy költsége azonban akadály lehet széles körű elterjedésüknek, míg az ETS nem bír különleges hardver- vagy szoftverigénnyel [31–33].

Az ETS-ek további előnyei a hagyományos, papíralapú sztereotesztekkel szemben, hogy a mobilkészülék-alapú teszt népszerű a gyerekek körében, elektronikus természeténél fogva pedig könnyen illeszthető adatbázis-kezelő, -nyilvántartó rendszerekkel, ezzel könnyítve az adminisztrációt, ami tömeges szűrés során kifejezett előnyt jelent. *Hadarits és mtsai* kisgyermekek körében vizsgálták az EuvisionTab alkalmazhatóságát szemészeti szűrővizsgálatként az amblyopia esetében Csongrád-Csanád

vármegyében: 3 és 7 év közötti 120 gyermek bevonásával a programot alkalmasnak találták óvodáskorúak szemészeti szűrővizsgálatára [34].

További előny a hagyományos tesztekkel szemben, hogy az „átment/nem ment át” döntések statisztikai alapon születnek, ezzel kiküszöbölhető a klasszikus teszteknel gyakran előforduló „bizonytalan” eredmények. A küszöbmérés elhagyásával a vizsgálóeljárás olyannyira egyszerűsödött, hogy bármely szakember (asszisztensek, védőnők, pedagógusok), de akár a szülők is könnyedén elsajátíthatják a vizsgálat alapelveit. Néhány célzott instrukció alapján akár egy óvodáskorú gyermek is elvégezheti a vizsgálatot saját magán vagy kortársain (1. ábra). A vizsgálati távolság és az egyéb vizsgálati körülményekkel szembeni tolerancia lehetővé teszi megosztott képernyőn keresztül a telemedicina-konzultáció módszerével történő vizsgálatot is. Egy 2021. évi hazai összefoglaló közlemény is hangsúlyozta már a látásromlás megelőzésének legfontosabb aspektusait, köztük a megelőzés kiterjesztésének lehetőségét az egészségügyi szakembereken túl az oktatási és szociális rendszerekre [35].

Ez a szűrési megközelítés előnyös lenne Magyarországon is, hiszen a tesztet – egyszerűségénél fogva – akár laikusok is elvégezhetik rövid betanulás után, így nem terheli még jobban sem az alapellátást, sem a szemészeti szakellátást. Nemrégiben az *Orvosi Hetilap*ban megjelent cikkben a védőnők szerepét tárgyalták a gyermekkori látásproblémák felismerésével kapcsolatban, mely szerint hazánkban kisgyermekkorban a kancsalság és a fénytörési hibák felismerését célozzák meg elsődlegesen, ezáltal az amblyopia is látótérbe kerül [36]. Az ETS alkalmazása segítségül szolgálhat a védőnői hálózat számára is a gyermekkori látásproblémák felismerésére, hiszen a vizsgálat alapján hatékonyabb, szűrt beteganyag kerülhet a gyermekszemészek látókörébe. Az EuvisionTab teszt és a mesterségesintelligencia-alapú megközelítések a vizsgálatok jövőjének ígéretes útjait jelentik, kínálva egy megbízható és költséghatékony megoldást a gyermekkori látászavarok széles körű szűrésére.

Az amblyopia megelőzése mellett kutatócsoportunk vizsgálja az EuvisionTab alkalmazásának lehetőségét az idős korosztályban is. Korrelációt keresünk az időskori elcsúszás csípőtörések és a térlátás zavarai között. Eddigi eredményeink alapján az ETS jól teljesített mind az alapellátásban, mind ágy melletti vizsgálómódszerként [37]. A módszer hatékonyságának további igazolására multicentrikus országos klinikai vizsgálatot tervezünk.

Anyagi támogatás: A tanulmány az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának és a Tématerületi Kiválósági Program 2021 Egészség alprogramjának támogatásával készült, a Pécsi Tudományegyetem EGA-16 számú projektjének keretében.

Szerzői munkamegosztás: Koncepció: J. G., M.-B. E., Cs. Zs., B. A. Metodika: J. G., M.-B. E., Cs. Zs. Vizsgálatok: Cs. Zs., M.-B. E., P. D. P., B. A. Vizualizáció: J. G., M.-B. E., Sz. I., Cs. Zs., H. P. Finanszírozás: J. G. Adminisztráció: J. G., M.-B. E., Cs. Zs., B. A. A cikk megírása: Cs. Zs., M.-B. E., J. G., Sz. I. A cikk áttekintése/szerkesztése: J. G., M.-B. E., Cs. Zs., N. V. Á., H. P., Sz. I., P. Á. A közlemény végleges változatát a társszerzők mind elolvasták és jóváhagyták.

Érdekeltségek: Az EuvisionTab® szoftver fejlesztését a Pécsi Tudományegyetem innovációs programja támogatja. Jandó Gábor és Mikó-Baráth Eszter tulajdonosok az Euvision Kft.-ben, amely a jövőben a Pécsi Tudományegyetem engedélyével kereskedelmi forgalomba hozhatja ezt a terméket.

Irodalom

- [1] Hubel DH, Wiesel TN, LeVay S. Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex. *Trans R Soc Lond Biol Sci.* 1977; 278: 377–409.
- [2] Jandó G, Mikó-Baráth E, Markó K, et al. Early-onset binocularity in preterm infants reveals experience-dependent visual development in humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 2012; 109: 11049–11052.
- [3] Braddick O, Atkinson J, Julesz B, et al. Cortical binocularity in infants. *Nature* 1980; 288: 363–365.
- [4] Birch EE. Stereopsis in infants and its developmental relationship to visual acuity. In: Simons K. (ed.) *Early visual development: normal and abnormal.* Oxford University Press, New York, NY, 1993; pp. 224–236.
- [5] Holmes JM, Clarke MP. Amblyopia. *Lancet* 2006; 367: 1343–1351.
- [6] Friendly DS. Amblyopia: definition, classification, diagnosis, and management considerations for pediatricians, family physicians, and general practitioners. *Pediatr Clin North Am.* 1987; 34: 1389–1401.
- [7] Van Leeuwen R, Eijkemans MJ, Vingerling JR, et al. Risk of bilateral visual impairment in individuals with amblyopia: the Rotterdam study. *Br J Ophthalmol.* 2007; 91: 1450–1451.
- [8] Meier K, Giaschi D. Unilateral amblyopia affects two eyes: fellow eye deficits in amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017; 58: 1779–1800.
- [9] Birch EE, Castañeda YS, Cheng-Patel CS, et al. Self-perception of school-aged children with amblyopia and its association with reading speed and motor skills. *JAMA Ophthalmol.* 2019; 137: 167–174.
- [10] Birch EE, Kelly KR, Giaschi DE. Fellow eye deficits in amblyopia. *J Binocul Vis Ocul Motil.* 2019; 69: 116–125.
- [11] Attebo K, Mitchell P, Cumming R, et al. Prevalence and causes of amblyopia in an adult population. *Ophthalmology* 1998; 105: 154–159.
- [12] Kvarnström G, Jakobsson P, Lennerstrand G. Visual screening of Swedish children: an ophthalmological evaluation. *Acta Ophthalmol Scand.* 2001; 79: 240–244.
- [13] Li YP, Zhou MW, Forster SH, et al. Prevalence of amblyopia among preschool children in central south China. *Int J Ophthalmol.* 2019; 12: 820–825.
- [14] McKean-Cowdin R, Cotter SA, Tarczy-Hornoch K, et al. Prevalence of amblyopia or strabismus in Asian and non-Hispanic white preschool children: multi-ethnic pediatric eye disease study. *Ophthalmology* 2013; 120: 2117–2124.
- [15] Levi DM, Knill DC, Bavelier D. Stereopsis and amblyopia: a mini-review. *Vision Res.* 2015; 114: 17–30.

- [16] Mocanu V, Horhat R. Prevalence and risk factors of amblyopia among refractive errors in an Eastern European population. *Medicina (Kaunas)* 2018; 54: 6.
- [17] Von Noorden GK, Campos EC. Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 1985; 22: 12–16.
- [18] Ohlsson J, Villarreal G, Sjöström A, et al. Screening for amblyopia and strabismus with the Lang II stereo card. *Acta Ophthalmol Scand.* 2002; 80: 163–166.
- [19] Birch EE. Amblyopia and binocular vision. *Prog Retin Eye Res.* 2013; 33: 67–84.
- [20] Ching FC, Parks MM, Friendly DS. Practical management of amblyopia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 1986; 23: 12–16.
- [21] Levi DM, Li RW. Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: a mini-review. *Vision Res.* 2009; 49: 2535–2549.
- [22] Zhou Y, Huang C, Xu P, et al. Perceptual learning improves contrast sensitivity and visual acuity in adults with anisometropic amblyopia. *Vision Res.* 2006; 46: 739–750. Erratum: *Vision Res.* 2007; 47: 2113.
- [23] Cruz OA, Repka MX, Hercinovic A, et al. Amblyopia preferred practice pattern. *Ophthalmology* 2023; 130: P136–P178.
- [24] DeSantis D. Amblyopia. *Pediatr Clin North Am.* 2014; 61: 505–518.
- [25] Asare AO, Maurer D, Wong AM, et al. Cost-effectiveness of universal school- and community-based vision testing strategies to detect amblyopia in children in Ontario, Canada. *JAMA Netw Open* 2023; 6: e2249384.
- [26] Budai A, Czigler A, Mikó-Baráth E, et al. Validation of dynamic random dot stereotests in pediatric vision screening. *Graefé's Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2019; 257: 413–423.
- [27] Julesz B, Kropfl W, Petrig B. Large evoked potentials to dynamic random-dot correlograms and stereograms permit quick determination of stereopsis. *Proc Natl Acad Sci USA* 1980; 77: 2348–2351.
- [28] Csizék Z, Mikó-Baráth E, Budai A, et al. Artificial intelligence-based screening for amblyopia and its risk factors: comparison with four classic stereovision tests. *Front Med.* 2023; 10: 1294559.
- [29] DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 1988; 44: 837–845.
- [30] Daw NW. Critical periods and amblyopia. *Arch Ophthalmol.* 1998; 116: 502–505.
- [31] Vanclief K, Serrano-Pedraza I, Sharp C, et al. ASTEROID: a new clinical stereotest on an autostereo 3D tablet. *Transl Vis Sci Technol.* 2019; 8: 25.
- [32] Tittes J, Baldwin AS, Hess RF, et al. Assessment of stereovision with digital testing in adults and children with normal and impaired binocularity. *Vision Res.* 2019; 164: 69–82.
- [33] Vanclief K, Read JC, Herbert W, et al. Overestimation of stereo thresholds by the TNO stereotest is not due to global stereopsis. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2017; 37: 507–520.
- [34] Hadarits F, Sohár N, Sály Gy, et al. Amblyopia screening in childhood at the age of the applications. [A tompalátás gyermekkori szűrése az applikációk korában.] *Szemészet* 2021; 158: 94–100. [Hungarian]
- [35] Kiss E, Pajor E. Joint efforts for saving vision: overview of the prevention of vision loss inside and outside Hungary. [Összefogás a látás védelmében: körkép a látásromlás prevenciójának hazai és nemzetközi helyzetéről.] *Orv Hetil.* 2021; 162: 1187–1197. [Hungarian]
- [36] Barcsay-Veres A, Szamosi A, Bausz M, et al. The impact of district nurses in screening visual impairments. [A védőnők szerepe a gyermekkori látásproblémák felismerésében.] *Orv Hetil.* 2023; 164: 88–95. [Hungarian]
- [37] Miko-Barath E, Wiegand D, Patczai B, et al. Mobile-based examination of stereovision in elderly. *Perception* 2021; 50(Suppl 1): 192–193.

(Jandó Gábor dr.,
Pécs, Szigeti út 12., 7624
e-mail: gabor.jando@aok.pte.hu)

„*Iniuriam aures facilius quam oculi ferunt.*”
(A joggalanságot a fül jobban viseli, mint a szem.)

A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)