Oftalmologie 5-08 21.8.2008 12:47 Str. 207
proLékaře.cz | 2.2.2026

Somatosenzorická protéza pro slepce

Vyšata O.[1], Procházka A.[2], Kukal J.[2], Bečvárovský P.[3], Pazdera L.[1]

[1]Centrum neurologické péče, Rychnov nad Kněžnou, vedoucí: MUDr. Oldřich Vyšata
[2]Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, Ústav počítačové a řídící techniky, vedoucí doc. Ing. Miloš Kmínek, CSc.
[3]VMR s. r. o., Rychnov nad Kněžnou, vedoucí Ing. Petr Bečvárovský

SOUHRN

Používané metody kompenzace ztráty zraku nabízejí jen velmi malý objem přenášené informace. Kožní receptorové pole je informačním kanálem, který je teoreticky schopen přenášet podobně strukturovanou informaci jako sítnice. Snížený objem přenášené informace lze kompenzovat nízkoztrátovou kompresí obrazu pomocí wavelet transformace. Pokrok ve vývoji mikroelektroniky nyní umožňuje vyrobit přenosné zařízení pro kožní reprezentaci vizuálních vjemů s dostatečně dlouhou dobou provozu k rutinnímu využívání pacienty se slepotou či těžkou poruchou zraku. Navržená matice 2400 uhlíkových elektrod napařených na pružnou membránu v provedených experimentech vykazuje dobrou mechanickou odolnost, elektrickou pevnost a dobrou přilnavost ke kůži trupu. Při delším používání se stává problémem pocení se vznikem elektrických můstků mezi elektrodami a dráždění kůže produkty elektrolýzy potu. Přijatelnější alternativou jsou piezoelektrické vibrační stimulátory, které ale nabízejí o něco menší rozlišení stupňů intenzity stimulace. Ve srovnání s experimentálními sítnicovými nebo korovými implantáty nabízí somatosenzorická stimulace řádově vyšší objem přenášené informace.

Klíčová slova: zraková protéza, somatosenzorický analyzátor, slepota, wavelet tranformace

SUMMARY

Somatosensoric Prosthesis for the Blind

At present vision prosthesis proposes transmission of only a limited amount of visual information. Cutaneous receptor field may serve as a information channel. It has similar information-processing ability as retina. Lower information capacity of the skin may be compensated by wavelet transform image compression. Advances in microtechnology have facilitated the development of a haptic data visualization system with sufficient life-time for people with visual impairments. Proposed array with 2400 carbon electrodes stewed on elastic membrane in the present experiments demonstrate a good mechanical endurance, electrical stability and adhesivity to the trunk skin. Disadvantageous is short circuits production among near electrodes due to sweating and skin irritation after long term electrical stimulation. Vibrotactile piezo-electric stimulators are safer alternative with lower resolution. Comparing retinal and cortical vision prosthesis offers electrocutaneous communication system comparably higher amount of transmitted information.
Keywords: vision prosthesis, somatosensoric analyzer, blindness, wavelet transform

Čes. a slov. Oftal., 64, 2008, No. 5, p. 207–210

ÚVOD

V USA je aktuálně asi 2,3 milionu nevidomých žen a 1,1 milionu nevidomých mužů, srovnatelný počet slepců je i v Evropě. V Africe a Asii je slepců díky infekčním onemocněním, např. trachomu, relativně větší počet. Slepecká hůl přináší velmi omezenou informaci z bezprostředního okolí. Implantáty v retině či primární zrakové kůře vyvolávající scintilace jsou invazivní, spojené s nebezpečím degenerace tkáně v okolí implantátu a přenášejí opět jen velmi malý objem informace. Na rozdíl od velmi uspokojivě fungujících kochleárních implantátů jsou ekvivalentní zařízení pro slepce teprve v počátcích (6). V současné době je snahou definovat minimální požadavky na objem přenášené informace (7). Jsou vyhledávány také biokompatibilní materiály (12). Poslední přehledy dosaženého pokroku v oblasti epiretinálních, subretinálních a korových implantátů ukazují na řadu překážek bránících v rutinním klinickém využití (8). Např. minimální počet elektrod ke spolehlivému rozpoznávání jednotlivých slov je asi 300 (20). Klinické i experimentální údaje ukazují na schopnost velké plasticity mozkové kůry u slepců a dávají naději na adaptaci kožních receptorů ke vnímání informace přenášené polem elektrod (14, 17). Studie provedi-

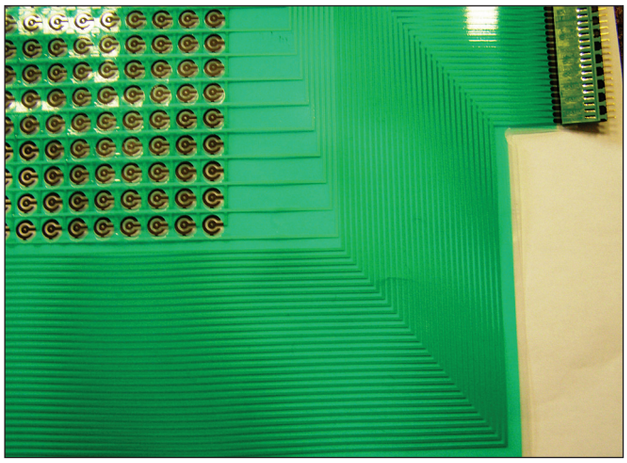
telnosti protézy využívající pole elektrod na kůži trupu diskutuje možnosti vyplývající ze současného vývoje mikroelektroniky a problémy spojené s permanentní kožní elektrickou stimulací.

Na 1 cm^2 kůže jsou průměrně 2 tepelné receptory, 13 chladových, 25 dotykových a 200 receptorů pro vnímání bolesti. Pro účely projektu jsou použitelné receptory dotykové a receptory pro vnímání bolesti, které při nižších stimulačních intenzitách nevyvolávají bolest, ale brnění.

Optimální stimulační frekvence pro receptory s nejrychlejší adaptací (dotyková Vater-Paciniho tělíska) je kolem 200 Hz. Požadavku na stimulační frekvenci 20–40 Hz vyhovují i středně rychle se adaptující receptory (Meissnerova tělíska a další). Akční potenciály z kožních receptorů se již na periferii člení do časově a prostorově modulovaných vzorců. Celá dostředivá dráha i příslušná mozková kůra mají prostorové uspořádání odpovídající rozložení receptorů na kůži. To znamená, že anatomická struktura nervového systému zpracovávajícího taktilní podněty je schopna zpracovávat časoprostorově diferencované podněty z kožních receptorů na trupu.

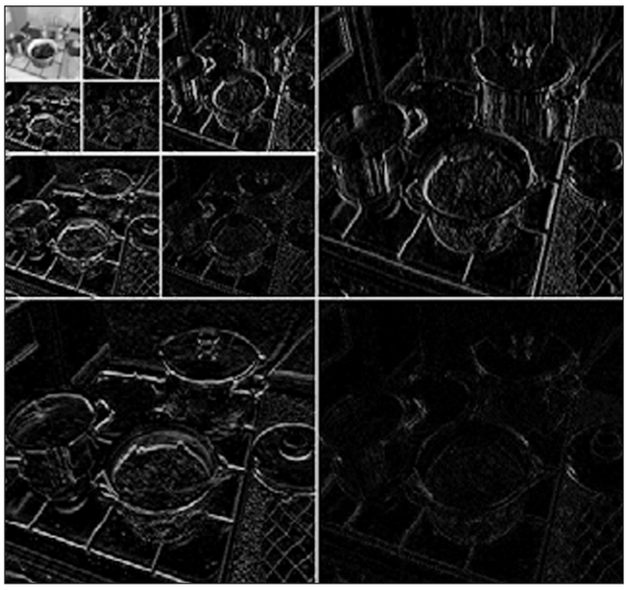
Korový analyzátor taktilních podnětů má velkou schopnost plasticity. Podle prací Pascuala Leone (14, 17) se u čtenářů Brailova písma tréninkem zvětšuje několikanásobně oblast mozkové kůry zpracovávající taktilní podněty z bříšek prstů ve srovnání se slepci nepoužívajícími Brailovo písmo i v porov-

proLékaře.cz | 2.2.2026



Obr. 1. Realizace elektrodového pole na pružné membráně

Obr. 2 a. Obrazová informace z kamery před kompresí



Obr. 2 b. Dekompozice obrazu wavelet tranformací do 3. stupně (zmenšení 1 : 64). Kombinací těchto komponent lze bezeztrátově rekonstruovat původní obrázek

Obr. 2 c. Komprimovaný obraz obsahuje 97,8 % informací původního obrazu a lze jej zobrazit ve 12 stupních intenzity proudu (stupňů šedi) v elektrodovém poli 60 x 40 elektrod na kůži trupu

nání se zdravými kontrolami. U slepců čtoucích Brailovo písmo se aktivuje i primární zraková kůra (17). Tyto poznatky dávají naději na významnou schopnost adaptace slepců na podněty přicházející prostřednictvím stimulace kožních receptorů a také možnost zpracovávat tuto informaci primární zrakovou kůrou způsobem blízkým fyziologickému vidění (11). Fyziologické experimenty s kožními receptivními poli v somatosenzorické kůře ukazují, že rozlišení kožních stimulů se zvyšuje s dobou stimulace (asi do 10 sekund) (21). To je jeden z podstatných rozdílů oproti zrakové kůře. Dalším rozdílem je kolaterální maskování užitečného signálu (11). Celkový objem přenášené informace kůží je také menší (2). Zrakový vjem však lze velmi efektivně komprimovat např. pomocí wavelet transformace, prakticky bez ztráty informace (obr. 2 a, b, c) (3).

METODY

Byly porovnány možnosti stimulace kůže monopolárními pozlacenými katodami 1 cm v průměru při zapojení ke společné anodě. Zkoumanou alternativou byla matice 60 x 40 koncentrických elektrod napařených na elastické membráně, přidržovaných k trupu nátělníkem s vysokým obsahem elastanu. Vzdálenost středů elektrod byla 30 mm (zatímco při stimulaci prstů za stejným účelem stačí kolem 3–6 mm) (22, 19). Jako zdroj byl využit proudový stimulátor elektromyografického přístroje s dékou trvání pulsu 0,05–1 ms, intenzity 0–100 mA o frekvenci 5–60 Hz u stimulace monopolárními elektrodami. Při stimulaci elektrodového pole na membráně byl využit upravený napěťový stimulátor napájený baterií obdobných parametrů s rozsahem napětí do 100 V. Kromě optimalizace stimulačních parametrů z hlediska komfortu a stanovení rozmezí přijatelných hodnot stimulace z hlediska maximalizace přenášené informace bylo sledováno maximální rozlišení intenzity proudu (simulující stupně šedi obrazu) schopnost vytváření komplexních vjemů a reakce kůže pod elektrodami. Dále byly testovány možnosti nízkoztrátové komprese obrazu z kamery do velikosti odpovídající poli elektrod. Základní problémy spojené se zpracováním vícerozměrných signálů zahrnují potlačování nebo zvýrazňování jejich dílčích složek (13, 23, 3), extrakci jejich vlastností a následnou klasifikaci (4, 1) komponent obrazů. Zvláštní pozornost je přitom věnována wavelet transformaci (16, 9, 10) pro dekompozici a rekonstrukci vícerozměrných dat. V práci byla provedena dekompozice obrazu pomocí Haarovy transformace a posouzen informační obsah komprimovaného obrazu.

proLékaře.cz | 2.2.2026

VÝSLEDKY

Pozlacené elektrody umožňují oproti uhlíkovým lepší kontakt s kůží, nižší přechodové odpory. Nevýhodou je obtížná manipulace s větším počtem jednotlivých elektrod, velký počet potřebných vodičů, odlepování elektrod při pohybu šatů vůči kůži trupu, nutnost nanášení vodivého gelu a jeho vysychání.

Z hlediska objemu přenášené informace je výhodné, aby stimulační puls trval co nejkratší dobu a frekvence stimulace byla co nejvyšší. Vyšší frekvence se však ukázaly jako subjektivně nepříjemné (vyvolávají pálení kůže). Za horní hranici dobře tolerovaného frekvenčního rozmezí lze považovat 20–40 Hz. S prodlužující se délkou pulsu klesá maximální tolerovaná intenzita. Proto byla testována délka trvání pulsu 0,05 ms. Tolerovaná intenzita stimulace u 5 pokusných osob byla při tomto trvání čtvercového pulsu 0–40 mA při možnosti rozpoznání až 12 úrovní intenzity. V toleranci však jsou velké interindividuální rozdíly.

Při současné stimulaci většího počtu elektrod různými intenzitami nebylo možné určit přesně polohu stimulovaných elektrod ani jejich počet, vznikaly však vzájemně odlišitelné komplexní vjemy.

Kompresí obrazu z digitální kamery (600 x 480 pixelů) do pole 60 x 40 elektrod pomocí wavelett analýzy lze zachovat podstatnou část původní informace (obr. 2 a, b, c).

DISKUSE

Přenos nízkoztrátově komprimovaného obrazu z digitální kamery do elektrodového pole na kůži trupu je podle provedené studie v zásadě možný. Při tomto přenosu vznikají komplexní vjemy, k jejichž správné interpretaci bude pravděpodobně potřebný dlouhý trénink. Výsledkem tréninku by měla být plastická přestavba funkce mozkové kůry v parieto-okcipitální oblasti a v nejlepším případě i primární zrakové kůry. Nadějí pro tuto přestavbu jsou studie plasticity somatosenzorické kůry u slepců ovládajících Brailovo písmo, ukazující velkou schopnost adaptace mozku i u dospělých lidí. Problémem při delším používání zůstává pocení pod nepropustnou fólií, které vede k vytváření vodivých můstků mezi anodou a katodou. Mohl by být řešitelný perforací fólie, nebo využitím porézního nosiče elektrod. U některých osob docházelo k podráždění kůže pravděpodobně produkty elektrolýzy potu při delší stimulaci. Zlepšení by přinesl porézní nosič umožňující odpařování potu. Nahražení elektrických stimulátorů taktilními by snížilo pravděpodobně rozlišení intenzity stimulace a tím i objem přenášené informace (5). V případě použití taktilních stimulátorů je třeba vzít v úvahu, že piezoelektrické stimulátory mají asi stokrát nižší spotřebu než elektromechanické (15). Nepotvrdily se obavy z malé elektrické pevnosti použité fólie. K probití fólie nedošlo ani při hodnotách intenzity proudu blízkých 100 mA. V porovnání se systémy taktilní stimulace rukou (22,19) a rtů (18) má navržený systém výhodu v robustnosti a faktu, že předešlé lokalizace jsou v běžném životě značně exponované a esteticky méně přijatelné.

ZÁVĚR

Korové a sítnicové implantáty dosud nenabízejí uspokojivé řešení náhrady ztraceného zraku. Jedním důvodem je invazivita a s tím spojená zdravotní rizika. Druhým důvodem je malý objem přenášené informace. Pokrok v miniaturizaci elektroniky a v současném zvyšování výkonu počítačů při nízkých nárocích na spotřebu elektrického proudu umožňuje, aby somatosenzorický stimulátor trupu nezatěžoval uživatele objemem ani hmotností. Propočtená doba činnosti na jedno nabití baterie je kolem 20 hodin. Dosažené výsledky dávají naději na přenos komprimovaného obrazu z kamery na kůži trupu. Objem takto přenášené informace je řádově vyšší než u experimentálních sítnicových a korových implantátů.

Práce vznikla v rámci rozvojového projektu č. MSM 6046137306

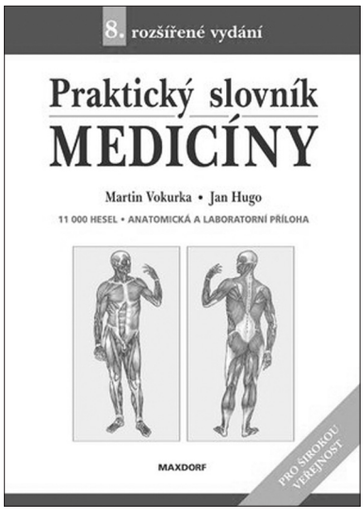
LITERATURA

1. **Duci, A., Yezzi, A. J., Mitter, S. K. et al.:** Region Matching with Missing Parts. in ECCV 3, 2002: 48–64.
2. **Fritz, J.P., Barner, K.E.:** Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments. IEEE Trans Rehabil Eng. 7, 1999; 3: 372-84.
3. **Gonzales, R. C., Woods, R. E., Eddins, S. L.:** Digital Image Processing Using MATLAB, Prentice Hall, 2004.
4. **Guleryuz, Onur G.:** "Iterated Denoising for Image Recovery," in Data Compression Conference (DCC '02), Snao Bird, Utah. 2002, IEEE.
5. **Haase, S.J., Kaczmarek, K.A.:** Electrotactile perception of scatterplots on the fingertips and abdomen. Med Biol Eng Comput. 43, 2005; 2: 283-9.
6. **Hallum, L.E., Dagnelie, G., Suaning, G.J. et al.:** Simulating auditory and visual sensorineural prostheses: a comparative review. J Neural Eng. 4, 2007; 1: 58-71.
7. **Humayun, M.S.:** Intraocular retinal prosthesis. Trans Am Ophthalmol Soc. 2001; 99: 271-300.
8. **Javaheri, M., Hahn, D.S., Lakhanpal, R.R. et al.:** Retinal prostheses for the blind. Ann Acad Med Singapore. 35, 2006; 3: 137-44.
9. **Kingsbury, N.:** Complex Wavelets for Shift Invariant Analysis and Filtering of Signals. Journal of Applied and Computational Harmonic Analysis, 10, 2001; 3: 234–253.
10. **Li, S., Shawe-Taylor, J.:** Comparison and Fusion of Multiresolution Features for Texture Classification. Pattern Recogn. Lett., vol. 25, 2004.
11. **Loomis, J.M.:** Counterexample to the hypothesis of functional similarity between tactile and visual pattern perception. Percept Psychophys. 54, 1993; 2: 179-184.
12. **Majji, A.B., Humayun, M.S., Weiland, J.D. et al.:** Long-term histological and electrophysiological results of an inactive epiretinal electrode array implantation in dogs. Invest Ophthalmol Vis Sci. 40, 1999; 9: 2073-81.
13. **Newland D. E.:** An Introduction to Random Vibrations, Spectral and Wavelet Analysis, Longman Scientific & Technical, Essex, U.K., third edition, 1994.
14. **Pascual-Leone, A.,Torres, F.:** Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. Brain. 116, 1993; 1: 39-52.
15. **Perez CA, Santibanez AJ, Holzmann CA et al.:** Power requirements for vibrotactile piezo-electric and electromechanical transducers. Med Biol Eng Comput. 41, 2003; 6: 718-726.
16. **Rioul, O., Vetterli, M.:** Wavelets and Signal Processing. IEEE SP Magazine, pp. 14–38, October 1991.
17. **Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J. et al.:** Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. Nature. 380, 1996; 11: 526-528.
18. **Shim, J.W., Liu, W., Tang, H.:** System development for multichannel electrotactile stimulation on the lips. Med Eng Phys. 28, 2006; 7: 734-739.
19. **Shinohara, M., Shimizu, Y., Mochizuki, A.:** Three-dimensional tactile display for the blind. IEEE Trans Rehabil Eng. 6, 1998; 3: 249-256.

Oftalmologie 5-08 21.8.2008 12:47 Str. 210
proLékaře.cz | 2.2.2026

20. **Sommerhalder, J., Oueghlani, E., Bagnoud, M. et al.:** Simulation of artificial vision: I. Eccentric reading of isolated words, and perceptual learning. Vision Res. 43, 2003; 3: 269-283.
21. **Tommerdahl, M., Favorov, O., Whitsel B.L.:** Optical imaging of intrinsic signals in somatosensory cortex. Behav Brain Res. 135, 2002; 1-2: 83-91.
22. **Tang, H., Beebe, D.J.:** A microfabricated electrostatic haptic display for persons with visual impairments. IEEE Trans Rehabil Eng. 6, 1998; 3: 241-248.
23. **Vaseghi, Saeed V.:** Advanced Signal Processing and Digital Noise Reduction, Wiley & Teubner, West Sussex, U.K., 2000.

MUDr. Oldřich Vyšata
Centrum neurologické péče
Jiráskova 1386
516 01 Rychnov nad Kněžnou
e-mail: vysata@neurol.cz
tel.: 777 575 460



PRAKTICKÝ SLOVNÍK MEDICÍNY (8. vydání)

Martin Vokurka, Jan Hugo a kol.

Nejužívanější český výkladový slovník lékařských pojmů. Osmé, dále rozšířené vydání úspěšného lékařského výkladového slovníku obsahuje více než 11.000 hesel a nově navíc rozsáhlou přílohu normálních laboratorních hodnot. O oblibě slovníku svědčí 70.000 prodaných výtisků v předchozích sedmi postupně rozšiřovaných vydáních.
Hesla zahrnují orgány lidského těla, jejich funkce a poruchy, popis několika set nemocí a syndromů, jejich příznaků, lékařských vyšetření a různých způsobů léčby, přibližně 1500 hesel se vztahuje k lékům. Pozornost je věnována zvláště nemocem srdce a cév (infarkt myokardu, angina pectoris, vysoký krevní tlak), zhoubným nemocem (nádory, leukemie), cukrovce, nemocem žláz s vnitřní sekrecí, kožním nemocem, ženským nemocem, duševním chorobám (včetně různých závislostí) či poruchám v oblasti sexuality. Významnou oblastí je těhotenství a porod, velký počet hesel se týká vrozených nemocí a poruch.

Vydalo nakladatelství Maxdorf v roce 2007, 536 stran, formát A5, vázané, cena: 595 Kč, ISBN: 978-80-7345-123-3.

Objednávky můžete posílat na adresu: Nakladatelské a tiskové středisko ČLS JEP, Sokolská 31, 120 26 Praha 2, fax: 224 266 226, e-mail: nts@cls.cz. Na objednávce laskavě uveďte i jméno časopisu, v němž jste se o knize dozvěděli.

proLékaře.cz | 2.2.2026

Leica High Definition Platform
Objevte novou dimenzi - Go HD!

Propojením vysoké úrovně optické kvality s nejlepšími dostupnými technologiemi pro HD snímání, dokumentaci a zobrazování na monitoru Leica redefinuje novou dimenzi chirurgické mikroskopie. Vysoké rozlišení při nejmenších anatomických detailech nebo systém QuadZoom, poskytující operatérovi i asistentovi 100 % osvětlení i hloubkovou ostrost při stejném zvětšení, jsou zárukou kvality i při nejnáročnějších operacích.

To musíte vidět!

MIKRO, s.r.o.
Dolnokrčská 54
140 00 Praha 4 - Krč
+420 241 441 547
www.leica.cz

MIKRO, s.r.o.
Martinská 30
821 05 Bratislava
+421 243 415 796
www.leica.sk

Leica
MICROSYSTEMS

proLékaře.cz | 2.2.2026

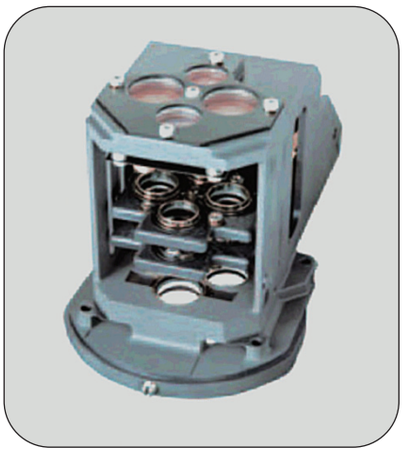
Go HD!

Leica High Definition Platform – objevte novou dimenzi

S vývojem nových technologií jsme konfrontováni v každodenním životě a v oblasti nových televizních příjímačů jsme si již zvykli na označení HD ready nebo full HD. Jedná se o přijímače, které budou schopny přijímat v budoucnosti televizní vysílání v High Definition kvalitě, což znamená místo standardního rozlišení 460 řádků, formát s 7 60 řádky u HD ready a dokonce 1080 řádků u full HD rozlišení.

Propojením vynikajících optických vlastností operačního mikroskopu Leica M844 F40 s novými HD digitálními technologiemi, Leica vytvořila dosud nevídané možnosti kvalitního rozlišení obrazu, který propůjčuje značce vyjímečné postavení v oblasti oční chirurgie. Stálé nové medicínské postupy vyžadují naprosto dokonalý vjem operatérů, který je možné dosáhnout pouze s digitální technologií ve vysokém rozlišení. Prostorové vnímání spolu s hloubkovou ostrostí bylo vždy dominantní a základní vlastností značky Leica, ale ve spojení s HD platformou Leica je nyní dosaženo naprosto dokonalého rozlišení, které lze pozorovat živě na LCD monitoru s širokou uhlopříčkou na operačním sale nebo při prezentacích na nejrůznějších konferencích.

Platforma HD obsahuje tři základní elementy. HD digitální kameru, full HD monitor a HD nahrávací zařízení pro ukládání průběhu operace nebo jednotlivých snímků, vše spojeno kompatibilně tak, aby soulad komponent dával chirurgovi do rukou nevídané možnosti.



Optika je základ

Vývoj originálních optických prvků v absolutní planapo- chromatické kvalitě OptiChrome poskytuje vysoké rozlišení i při nejmenších anatomických detailech. Mezi naprosto převratné technologie bezesporu patří i systém QuadZoom se čtyřmi paprsky poskytující oběma operatérům stejné množství osvětlení a stejný prostorový 3D efekt při stejném zvětšení.

I když optika je základem, dalším důležitým faktorem u mikroskopu je osvětlení. Na jedné straně musí poskytovat dostatek světla pro operatéry včetně velmi jasného zobrazení červeného reflexu, na druhé straně nesmí škodit pacientovi, který se ocitne v zorném poli mikroskopu bez možnosti oko přivřít a v určité části operace i bez čočky. To je hlavním důvodem pro upřednostnění přímého halogenového osvětlení před xenonovým zdrojem světla se světlovodičem. Jakkoli Leica tyto zdroje světla využívá v neurochirurgii i ORL, pro oční operace je výslovně nedoporučuje.

Leica velice pečlivě zvažuje i individualitu jednotlivých operatérů, proto je u M 844 nainstalováno softwarové vybavení umožňující přednastavení operačních procedur, které jsou jednotlivými chirurgy používány nejčastěji. Pro individuální komfort je pak systém ErgonOptics dokonalou ukázkou pohodlí snadnou manipulovatelností optického systému nahoru i do stran podle fyziologických předpokladů operatéra. S tím potom souvisí i elektomagnetické brzdy, které po nastavení mikroskopu stativ pevně zafixují.

Leica vždy zaujímala špičkové postavení ve světě optických zařízení a i v budoucnu hodlá přinášet lékařům i pacientům svou vizi “Living up to Life”.