

**Miroslav Orel, Věra Facová a kolektiv**



# **ČLOVĚK, JEHO SMYSLY A SVĚT**



 **GRADA®**

## Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

*Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umístování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.*



## **Poděkování**

S poděkováním věnujeme tuto knihu všem, kteří nějakým způsobem naplnili a obohatili naše vlastní smysly a životy – tím, co nám řekli (nebo neřekli), ukázali (nebo neukázali), dali (nebo nedali) pocítit, prožít a zažít...  
Stali se tak totiž součástí našich životů a nás samých.

V Olomouci 25. března 2010

Miroslav Orel a Věra Facová

**MUDr. PhDr. Miroslav Orel, PaedDr. Mgr. Věra Facová a kolektiv**

## **ČLOVĚK, JEHO SMYSLY A SVĚT**

Vydala Grada Publishing, a.s.  
U Průhonu 22, 170 00 Praha 7  
tel.: +420 234 264 401, fax: +420 234 264 400  
www.grada.cz  
jako svou 4162. publikaci

### **Spoluautoři:**

t. č. studující Ondřej Fac  
prof. MUDr. Miroslav Heřman, Ph.D.  
MUDr. Zdeněk Hložek, Ph.D.  
MUDr. Martin Kaláb  
MUDr. Bohdan Křupka, Ph.D.  
MUDr. Petr Mlčák  
PhDr. Radko Obereignerů, Ph.D.  
Jiří Šimonek, promováný psycholog  
doc. MUDr. Rostislav Večeřa, Ph.D.  
MUDr. Peter Wágner

### **Recenzovali:**

prof. MUDr. Jaroslav Pokorný, DrSc., UK Praha  
doc. PhDr. Michal Miovský, Ph.D., UK Praha

Odpovědná redaktorka Drahuše Mašková  
Ilustrace MUDr. PhDr. Miroslav Orel  
Ilustrace na obálce Ing. Jiří Románek  
Sazba a zlom Milan Vokál  
Grafický návrh a zpracování obálky Radek Krédl  
Počet stran 256  
Vydání 1., 2010

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.

© Grada Publishing, a.s., 2010  
Cover Photo © Jiří Románek, Miroslav Orel

**ISBN 978-80-247-2946-6** (tištěná verze)

ISBN 978-80-247-7306-3 (elektronická verze ve formátu PDF)

© Grada Publishing, a.s. 2012

---

# OBSAH

<b>1. KRÁTKÉ SLOVO NA ÚVOD</b> . . . . .	<b>11</b>
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
<b>2. JAK A Z ČEHO JSOU SMYSLY POSTAVENY A JAK FUNGUJÍ</b> . . . . .	<b>12</b>
<i>Miroslav Orel, Ondřej Fac</i>	
2.1 Buněčné receptory . . . . .	13
2.1.1 Rozlišení vlastního a cizího . . . . .	20
2.2 Rozdělení smyslů . . . . .	22
2.3 Osud smyslových informací . . . . .	25
<b>3. JAK JSME TO VIDĚLI KDYSI A JAK TO VIDÍME DNES</b> . . . . .	<b>37</b>
<i>Martin Kaláb</i>	
3.1 Zrak . . . . .	37
3.2 Sluch . . . . .	42
3.3 Čich . . . . .	46
3.4 Chuť . . . . .	47
3.5 Hmat, bolest a vnímání teploty . . . . .	48
<b>4. DÍVÁME SE</b> . . . . .	<b>50</b>
<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Petr Mlčák, Radko Obereignerů</i>	
4.1 Čím a jak vidíme? . . . . .	51
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
4.1.1 Stavba sítnice . . . . .	54
4.1.2 Z oka do mozku . . . . .	60
4.1.3 Přídavné orgány oční . . . . .	64
4.2 Jak oko vzniká, roste a vyvíjí se před narozením . . . . .	66
<i>Miroslav Orel</i>	
4.3 Vyšetřovací metody v rukou lékařů a psychologů . . . . .	68
<i>Petr Mlčák, Radko Obereignerů, Miroslav Orel</i>	
4.3.1 Vyšetření očních lékařů . . . . .	69
<i>Petr Mlčák</i>	
4.3.2 Vyšetření zraku v psychologii . . . . .	76
<i>Radko Obereignerů</i>	
4.4 Když zrakové ústrojí neslouží, jak má . . . . .	82
<i>Petr Mlčák</i>	
4.4.1 Refrakční vady a vetchozrakost . . . . .	82
4.4.2 Onemocnění víček . . . . .	82
4.4.3 Onemocnění slzného ústrojí . . . . .	84

4.4.4	Onemocnění spojivky . . . . .	84
4.4.5	Onemocnění rohovky . . . . .	85
4.4.6	Onemocnění živnatky . . . . .	85
4.4.7	Onemocnění čočky . . . . .	86
4.4.8	Onemocnění sklivce . . . . .	86
4.4.9	Onemocnění sítnice . . . . .	87
4.4.10	Onemocnění zrakového nervu – zelený zákal (glaukom) . . . . .	90
4.4.11	Úrazy oka . . . . .	91
4.5	Můžeme zrak ovlivnit... (?) . . . . .	92
	<i>Petr Mlčák</i>	
4.5.1	Léčba refrakčních vad a vetchozrakosti . . . . .	92
4.5.2	Léčba onemocnění víček . . . . .	93
4.5.3	Léčba onemocnění slzného ústrojí . . . . .	93
4.5.4	Léčba onemocnění spojivky a rohovky . . . . .	94
4.5.5	Léčba onemocnění živnatky . . . . .	94
4.5.6	Léčba šedého zákalu . . . . .	94
4.5.7	Léčba vybraných onemocnění sítnice . . . . .	95
4.5.8	Léčba zeleného zákalu (glaukomu) . . . . .	95
4.5.9	Léčba úrazů oka . . . . .	96
<b>5.</b>	<b>POSLOUCHÁME . . . . .</b>	<b>97</b>
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Zdeněk Hložek, Radko Obereignerů</i>	
5.1	Čím a jak slyšíme? . . . . .	98
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
5.1.1	Zevní ucho . . . . .	99
5.1.2	Střední ucho . . . . .	100
5.1.3	Vnitřní ucho . . . . .	101
5.1.4	Z ušního boltce do mozku . . . . .	103
5.2	Jak ucho vzniká, roste a vyvíjí se před narozením . . . . .	106
	<i>Miroslav Orel</i>	
5.3	Vyšetřovací metody v rukou lékařů a psychologů . . . . .	109
	<i>Zdeněk Hložek, Radko Obereignerů, Miroslav Orel</i>	
5.3.1	Vyšetření ušních – nosních – krčních lékařů . . . . .	110
	<i>Zdeněk Hložek, Miroslav Orel</i>	
5.3.2	Vyšetření sluchu v psychologii . . . . .	115
	<i>Radko Obereignerů</i>	
5.4	Když sluch neslouží, jak má . . . . .	115
	<i>Zdeněk Hložek, Miroslav Orel</i>	
5.4.1	Vývojové poruchy ušního boltce . . . . .	116
5.4.2	Vrozená atřezie zevního zvukovodu . . . . .	116
5.4.3	Cerumen obturans . . . . .	116
5.4.4	Záněty zevního zvukovodu . . . . .	116
5.4.5	Exostózy . . . . .	117
5.4.6	Cizí tělesa ve vnějším zvukovodu . . . . .	117
5.4.7	Nádory vnějšího zvukovodu a středouší . . . . .	117
5.4.8	Akutní serotubární katar . . . . .	117

5.4.9	Akutní zánět středního ucha . . . . .	118
5.4.10	Chronický hnisavý zánět středního ucha . . . . .	118
5.4.11	Záněty vnitřního ucha . . . . .	119
5.4.12	Degenerativní nemoci vnitřního ucha . . . . .	119
5.4.13	Poranění bubínku a středoušních kůstek . . . . .	119
5.4.14	Akutnauma . . . . .	119
5.4.15	Náhlá ztráta sluchu nejasné etiologie . . . . .	120
5.4.16	Morbus Menièri (Menièrova nemoc) . . . . .	120
5.4.17	Otoskleróza . . . . .	121
5.4.18	Tinnitus (ušní šelesty) . . . . .	121
5.5	Můžeme sluch ovlivnit... (?) . . . . .	121
	<i>Zdeněk Hložek, Miroslav Orel</i>	
5.5.1	Sluchadla . . . . .	122
5.5.2	Kochleární implantáty . . . . .	124
<b>6.</b>	<b>A CO ROVNOVÁHA... (?) . . . . .</b>	<b>126</b>
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Bohdan Křupka</i>	
6.1	Čím a jak vnímáme polohu a pohyb hlavy . . . . .	126
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
6.1.1	Orgány polohy . . . . .	127
6.1.2	Orgány pohybu . . . . .	128
6.1.3	Z blanitého labyrintu do mozku . . . . .	128
6.2	Jak rovnovážné ústrojí vzniká, roste a vyvíjí se před narozením . . . . .	129
	<i>Miroslav Orel</i>	
6.3	Vyšetřovací metody v rukou lékařů . . . . .	129
	<i>Bohdan Křupka, Miroslav Orel</i>	
6.4	Poruchy rovnováhy . . . . .	132
	<i>Bohdan Křupka</i>	
6.4.1	Nevestibulární závrat' . . . . .	132
6.4.2	Vestibulární závrat' . . . . .	133
6.5	Můžeme poruchy rovnováhy ovlivnit... (?) . . . . .	135
	<i>Bohdan Křupka</i>	
<b>7.</b>	<b>ČICHÁME . . . . .</b>	<b>137</b>
	<i>Miroslav Orel, Ondřej Fac, Radko Obereignerů</i>	
7.1	Čím a jak čicháme . . . . .	139
	<i>Miroslav Orel, Ondřej Fac</i>	
7.1.1	Z nosu do mozku . . . . .	139
7.2	Jak čichové ústrojí vzniká, roste a vyvíjí se před narozením . . . . .	141
	<i>Miroslav Orel</i>	
7.3	Vyšetření čichu . . . . .	142
	<i>Radko Obereignerů, Miroslav Orel</i>	
7.4	Poruchy a ovlivnění čichu . . . . .	143
	<i>Miroslav Orel</i>	

<b>8. OCHUTNÁVÁME</b> . . . . .	<b>145</b>
<i>Miroslav Orel</i>	
8.1 Čím a jak ochutnáváme? . . . . .	145
8.1.1 Z jazyka a ústní dutiny do mozku . . . . .	146
8.2 Jak chuťové ústrojí vzniká, roste a vyvíjí se před narozením . . . . .	147
8.3 Vyšetření, poruchy a ovlivnění chuťového čidla . . . . .	147
<b>9. DOTÝKÁME SE A DOTÝKAJÍ SE NÁS</b> . . . . .	<b>149</b>
<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Bohdan Křupka</i>	
9.1 Co a jak vnímáme kůži... (?) . . . . .	149
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
9.1.1 Z kůže do mozku . . . . .	152
<i>Miroslav Orel</i>	
9.2 Jak kůže vzniká, roste a vyvíjí se před narozením . . . . .	156
<i>Miroslav Orel</i>	
9.3 Vyšetřovací metody v ruce lékařů . . . . .	157
<i>Bohdan Křupka</i>	
9.4 Když kožní cití neslouží, jak má . . . . .	160
<i>Bohdan Křupka</i>	
9.4.1 Periferní poruchy citlivosti . . . . .	160
9.4.2 Centrální poruchy citlivosti . . . . .	161
9.5 Můžeme kožní citlivost ovlivnit... (?) . . . . .	165
<i>Bohdan Křupka</i>	
<b>10. PŘÍKLADY ZOBRAZOVÁNÍ VYBRANÝCH SMYSLOVÝCH ORGÁNŮ A PORUCH SMYSLŮ</b> . . . . .	<b>166</b>
<i>Miroslav Heřman</i>	
<b>11. ČÍM, JAK A CO VNÍMÁME UVNITŘ</b> . . . . .	<b>176</b>
<i>Miroslav Orel</i>	
11.1 Propriocepce . . . . .	176
11.2 Viscerocepce . . . . .	178
<b>12. VNÍMÁME BOLEST A SLAST</b> . . . . .	<b>181</b>
<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Rostislav Večeřa, Peter Wágner</i>	
12.1 Co je to bolest a jak vzniká . . . . .	182
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
12.2 Cesty bolestivých zpráv . . . . .	185
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
12.3 Bolí jen tělo (některé psychosomatické souvislosti bolesti)? . . . . .	188
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
12.4 Co lze s bolestí dělat? . . . . .	190
<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Rostislav Večeřa, Peter Wágner</i>	
12.4.1 Farmakologická léčba bolesti . . . . .	191
<i>Rostislav Večeřa</i>	



---

12.4.2	A co placebo... (?) . . . . .	196
	<i>Miroslav Orel</i>	
12.4.3	Nefarmakologické možnosti ovlivnění bolesti . . . . .	198
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Peter Wágner</i>	
12.4.3.1	Bolest a léčebná rehabilitace . . . . .	201
	<i>Peter Wágner, Miroslav Orel</i>	
12.5	Vnímáme slast . . . . .	206
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
12.5.1	Mozek a slast . . . . .	209
<b>13.</b>	<b>VNÍMÁME V ČASE . . . . .</b>	<b>214</b>
	<i>Věra Facová, Miroslav Orel, Jiří Šimonek</i>	
13.1	Před narozením a krátce po něm . . . . .	215
13.2	První roky . . . . .	218
13.3	Rosteme dál . . . . .	221
13.4	Jsme dospělí a stárneme . . . . .	222
<b>14.</b>	<b>VJEMY ZKRESLENÉ A ŠALEBNÉ . . . . .</b>	<b>223</b>
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
14.1	Šalebné vjemy a hypnóza . . . . .	226
14.2	Látky vyvolávající šalebné vjemy . . . . .	227
14.3	„Jednoznačné nejednoznačno“ nebo „nejednoznačné jednoznačno“? . . . . .	228
<b>15.</b>	<b>KRÁTKÉ SLOVO NA ZÁVĚR . . . . .</b>	<b>232</b>
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
<b>16.</b>	<b>LITERATURA . . . . .</b>	<b>233</b>
<b>17.</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK . . . . .</b>	<b>239</b>
<b>18.</b>	<b>REJSTŘÍK . . . . .</b>	<b>241</b>

## 1. KRÁTKÉ SLOVO NA ÚVOD

**Vnímám – vnímáš – vnímáme...** Jak běžná nám mohou připadat tato slova. Jak přirozeně využíváme jejich náplň a obsah. Pozorujeme krajinu, druhého člověka nebo oblíbený film. Posloucháme hudbu, šumění vody nebo zprávy v rádiu. Když zavřeme oči, víme, v jaké poloze jsou naše ruce a nohy. Stovky a tisíce těchto a podobných informací považujeme za zcela samozřejmé.

Co se však děje, než si uvědomíme, na co se díváme a co to v nás vyvolává? Jak slyšíme? Jak vlastně cítíme něžný dotek a tvrdý pád, hřejivé paprsky slunce, vůni jahod nebo sena?

Smyslové vnímání, kterému se v knize věnujeme, je bezesporu jednou ze zásadních **podmínek života**. Každý živý tvor (člověka nevyjímaje) je zcela závislý na okolním prostředí, se kterým je v neustálé interakci, a komunikaci spojené s výměnou látek, energií a informací. A hyne nejen bez příjmu potravy a vody, ale také bez příjmu informací, které nám zprostředkovávají naše smysly.

A právě na cestu za poznáním našich smyslů (a jak doufáme – bez nesmyslů) vás nyní zveme.

Je nám jasné, že naše kniha není a ani nemůže být úplná a dokonalá. Naším cílem bylo poodhalit a zpřístupnit **biologické, lékařské a psychologické poznatky** o našich smyslech – a to nejen těch „známých“ (jako jsou zrak, sluch, čich, chuť a hmat) tak, aby se jednalo o kompromis mezi „čistě učebnicovou“, „zcela populární“ a „ryze vědeckou“ formou. Proto také např. literaturu uvádíme souhrnně na konci knihy a neuvádíme přesné citace přímo v textu. Věnujeme se sice prioritně smyslům lidským, ale nemohli jsme si občas odpuště drobné „srovnávací exkurze“ do oblasti smyslů zvířecích. V kapitolách najdete také vývoj, nemoci, způsoby vyšetření a léčby některých smyslových orgánů. A okrajově se věnujeme i vnímání bolesti a slasti.

Publikaci jsme koncipovali tak, aby z ní mohli vycházet studenti řady disciplín středních a vysokých škol, kteří se při svém studiu s oblastí smyslového vnímání setkávají. A některé informace snad mohou zaujmout i absolventy příslušných oborů či veřejnost se zájmem o danou tematiku.

*V Olomouci 25. března 2010*

*Miroslav Orel a Věra Facová*

## 2. JAK A Z ČEHO JSOU SMYSLY POSTAVENY A JAK FUNGUJÍ

*Miroslav Orel, Ondřej Fac*

Rozeznávání, zachycování, přijímání a zpracovávání informací z vnějšího i vnitřního světa organismu je jedním z rysů života. Jsou jím nadány jak bakterie či jednobuněční (prvoci, kvasinky apod.), tak složitěji organizovaní tvorové. U mnohobuněčných živočichů (kam z biologického hlediska řadíme i člověka) zajišťuje zmíněné funkce specializovaná **smyslová soustava**.

**Vnímání** – percepce – tedy zahrnuje nejen zachycení informací pomocí smyslů, ale také jejich přijetí, zpracování a využití.

**Poznámka:** Počeštěný výraz „percepce“ se užívá běžně. Latinský základ slova (*perceptiō* – percepce, vnímání, přijetí, vjem) je odvozen od *percipere* – chytit.

Vzhledem ke gigantickému množství přicházejících informací nejsou ani nejjednodušší buňky, ani nejdokonalejší tvorové nikdy schopni zachytit a zpracovat veškeré nabízející se informace, ale pouze jejich omezený výběr. Vnímání je vždy **výběrovým procesem**. Platí však, že informace, na které jsou jednotlivé druhy nejcitlivější, odpovídají jejich potřebám.

Např. pro včely je výhodné, aby vnímaly obrazy na květinách viditelné pouze v UV světle, které je nasměrují přímo ke zdrojům nektaru. Pro králíka, který tyto květy může také konzumovat, je toto vnímání „zbytečné“. Musí ale být schopen zachytit pohyb lišky na okraji zorného pole, čehož si naopak vůbec „nevšimne“ včela. A člověk nezaregistruje ani jedno, ani druhé.

Vnímání sice poskytuje **obraz reality**, není ale pouze výběrové, nýbrž u každého individua také **subjektivně zkreslené**. Vstupují do něj navíc také **učení** a vytvořené **paměťové stopy** (minulé zkušenosti).

Stačí, aby např. pes, „zvyklý“ na velmi tvrdé zacházení, zaregistroval pohyb ruky – a bude se bát nebo útočit. Lhostejno, jestli mu chcete dát šunku nebo jej jemně pohladit.

Mimochodem ženy a děti „zvyklé“ na fyzické domácí násilí reagují podobně – na přiblížení a vstřícné gesto se zpravidla stáhnou a ucuknou nebo strnou v očekávání rány.

Než se budeme věnovat podrobněji stavbě, funkci a poruchám jednotlivých „velkých lidských“ smyslů, zastavíme se u nejmenší stavební a funkční jednotky lidského těla – u **buňky** a jejího vnímání.

## 2.1 BUNĚČNÉ RECEPTORY

Buňka je nejen základní „cihlou“ našeho těla, ale je i realizátorem základních **funkcí živé hmoty** – jako jsou růst, pohyb, rozmnožování a dědičnost, výměna látek, energie a také informací.

Lidské tělo obsahuje řádově více než  $10^{19}$  buněk. Ačkoli se jednotlivé buňky výrazně liší velikostí, tvarem i svými speciálními funkcemi, je jejich základní stavební schéma obdobné. Stručně připomeňme, že všechny lidské buňky mají na povrchu **buněčnou (plazmatickou) membránu**. Ta obklopuje vlastní vnitřní prostředí buňky – **cytoplazmu** –, ve které leží specializované **buněčné organely** (jádro, mitochondrie, endoplazmatické retikulum, Golgiho komplex, ribozomy, cytoskelet apod.).

Každá živá buňka je vybavena vlastním „senzorickým aparátem“, který jí umožňuje **zachycovat a přijímat informace** z okolí, a je schopna také informace vysílat – tedy **komunikovat** s okolím. Platí to bez výjimky pro všechny buňky. Bez této schopnosti by každá buňka byla dopředu odsouzena k zániku.

**Nezbytnost komunikace** pro život si dovoluujeme opakovaně přirovnat k nezbytnosti příjmu živin. Buňka, která nekomunikuje – stejně jako buňka, která nepřijímá živiny – hyne. A v přeneseném smyslu to možná platí i pro „celého člověka“.

Shrnujeme, že komunikace mezi buňkami se odehrává dvěma typy „buněčných komunikačních toků“: **mezi buňkou a okolním prostředím a mezi buňkami navzájem**. Oba zmíněné komunikační toky jsou pro prospívání a existenci nejen samotných buněk, ale celého mnohobuněčného těla rozhodující.

Jako **příklad narušení** obou komunikačních toků uveďme zhoubné nádorové buňky, které začnou žít „samy pro sebe“, bez ohledu na to, „co na to říkají“ ostatní buňky a celé tělo. Důsledky takového „počinání určité buněčné populace“ jsou pro jedince doslova smrtící.

Z okolí přicházejí k buňkám stovky a tisíce rozmanitých informací.

Každá buňka našeho těla je však schopna přijímat pouze **určité informace** a reagovat na ně. Slovo „určité“ v předchozí větě vymezuje, že buňky nereagují na všechny signály, ale pouze na některé. A jiným nevěnují pozornost (ignorují je). Tato **senzorická specializace** je nejvýraznější v případě smyslových buněk, které jsou úzce zaměřené na určitý typ podnětu (např. čípek lidské sítnice reaguje jen na určitou barvu světla).

Jak jsme uvedli, zmíněná sensorická specializace se netýká jen úrovně buněk, ale i celého organismu. Smyslové orgány různých živočichů totiž zachycují pouze ty specifické informace, které odpovídají jejich potřebám a prostředí, kde žijí (a jiné mohou zcela ignorovat).

**Základní signály** nebo zprávy, kterými buňky komunikují navzájem, jsou vesměs velmi jednoduché (a většinou představují chemické látky). Je však nutné signál nejprve na jedné straně „vyrobit a vyslat“. Na druhé straně pak „zachytit a zpracovat“ –

neboli převést mimobuněčný (extracelulární) signál na nitrobuněčný (intracelulární) a poté „reagovat“.

Nebudeme se věnovat „poruchové buněčné komunikaci“. Může se však týkat **produkce** či **vysílání** signálů (pak bychom použili příměr k situaci, kdy se možná v cizině domluvit chcete, ale neumíte žádné slovíčko, popřípadě máte ještě ruce za zády a nemůžete je ke komunikaci použít) nebo **příjmu a zpracování** situace (pak je to pozice cizinců, se kterými se chcete domluvit a oni vám vůbec nerozumí, nebo dostanete něco možná „zajímavého“, ale netušíte, k čemu to je, návod v cizí řeči nechápete, a tak to odložíte nebo vyhodíte).

Buněčné signály mohou působit na **různou vzdálenost**. Podle toho hovoříme o pěti **typech buněčné signalizace (komunikace)**:

- **Endokrinní komunikace** patří k velmi účinným regulačním mechanismům. Endokrinně aktivní buňka produkuje a do krve uvolňuje specifické působky – **hormony**, které se krevním oběhem dostávají i do vzdálených oblastí těla, kde působí na cílové buňky.
- **Parakrinní komunikace** se týká omezeného prostoru (řecké *para* znamená „vedle“). Buňka produkuje signální látky s lokálním působením (lokální regulátory), které pronikají do blízkého okolí producenta a ovlivňují sousední buňky.
- **Neuronově zprostředkovaná komunikace** je uskutečňována prostřednictvím nervových buněk (neuronů). Tyto buňky jsou schopné vytvářet, převádět a transformovat signály v podobě elektrických potenciálů a rozvádět je svými výběžky na různé vzdálenosti (od zlomku milimetru až po více než jeden metr). Mezi jednotlivými neurony i na jiné cílové buňky je informace přenesena pomocí chemické látky – **neuromediátoru** (neuropřenašeče).
- **Kontaktní (dotyková, juxtakrinní) komunikace** působí na nejkratší vzdálenost (latinské *juxta* znamená „těsně vedle, těsně u“). Buňky se kontaktují přímo dotykem struktur na svých buněčných membránách.
- **Autokrinní komunikace** se týká buňky samotné – signály, které buňka vysílá, ovlivňují i ji samotnou a slouží ke zpětnému sebeřízení (autoregulaci). Dalo by se říci, že si tak buňka „uvědomuje, co přesně řekla svému okolí a kolik toho řekla“.

**Pro ilustraci** bychom zmíněné buněčné komunikační typy mohli obrazně převést na nám známé úrovně komunikace.

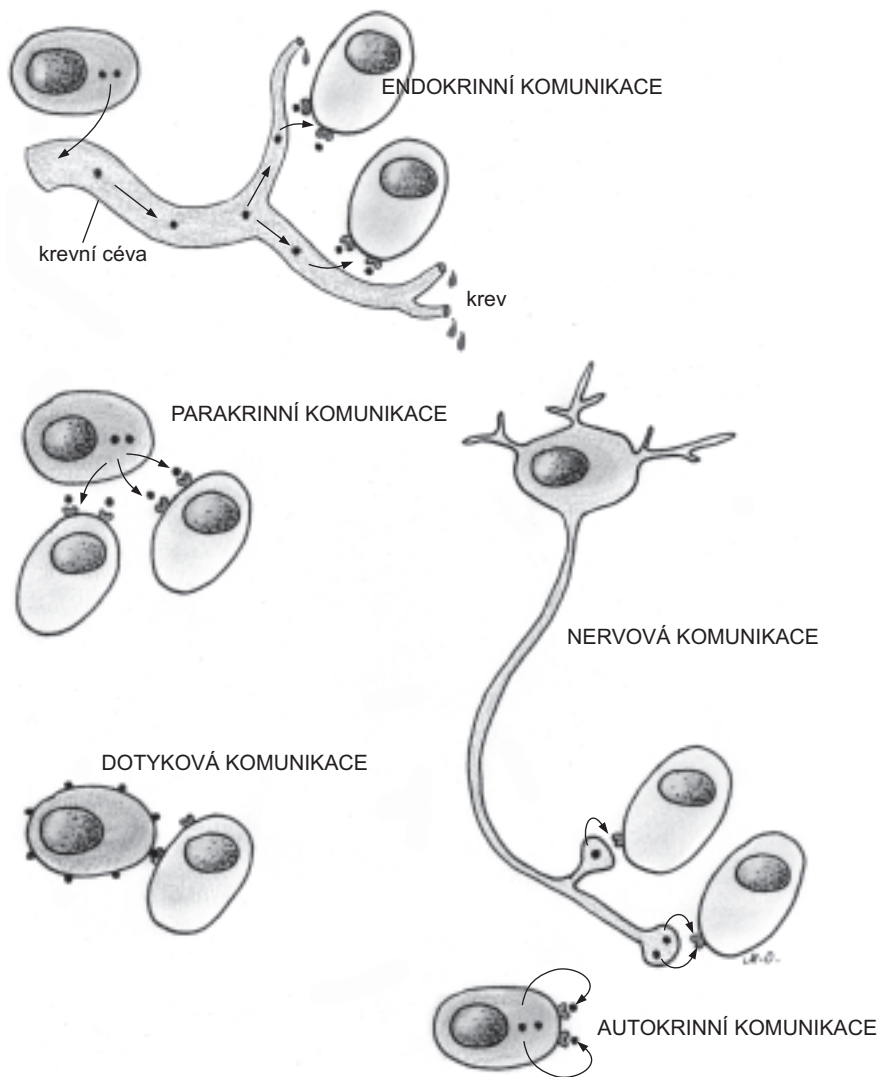
Můžete napsat dopis, ve kterém oznamujete, že přijedete na kávu, a poslat ho třeba na druhou stranu planety („endokrinní komunikace“ na velkou vzdálenost pomocí nějakého nosiče informace). Můžete zvednout telefon a oznámit tutéž informaci (což je příkladem „nervově – drátově – zprostředkované komunikace“).

V „době bezdrátových technologií, e-mailu a SMS“ budou tyto příklady pro mnohé možná nesrozumitelné, ale ještě nedávno byly opravdu dopisy „pouze“ listovní a telefony „pouze“ propojené dráty.

Pokud zavoláte z balkonu na své sousedy, že „jdete na kávu, ať postaví vodu,“ je to obrazně parakrinní typ komunikace.

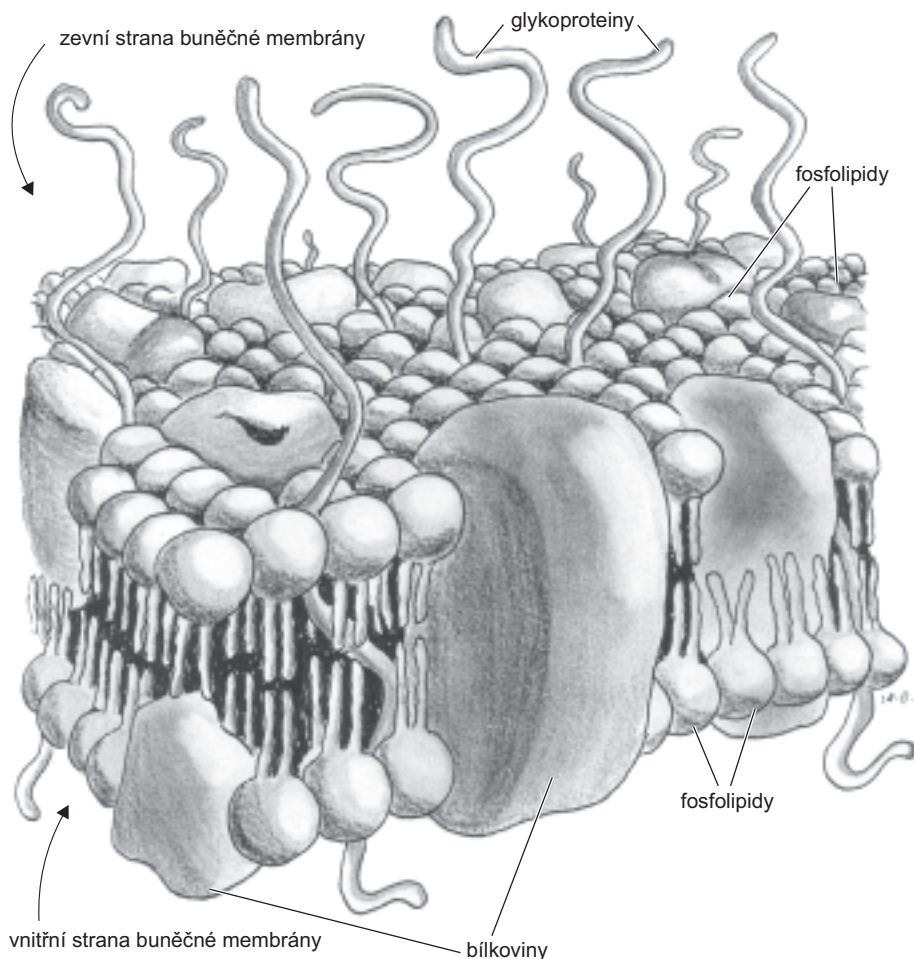
Jestli vezmete do ruky balíček kávy, zaklepete u sousedů, podáte jim ruku a řeknete, že „jste tady, kávu máte, ale vodu, hrnečky, cukr a smetanu jste nebrali“, je to přímá „dotyková“ komunikace.

A při všech těchto možnostech sami kontrolujete, co jste napsali, řekli, jestli to bylo jasné, srozumitelné nebo to máte zopakovat či zesílit hlas (příklad autokrinní komunikace, sebereflexe a seberežnění).



**Obr. 2.1** Typy komunikace mezi buňkami

Ať již buňky komunikují jakýmkoli způsobem, je největší množství buněčných senzorů kotveno v povrchové ohraničující struktuře buňky – v **PLAZMATICKÉ (BUNĚČNÉ) MEMBRÁNĚ**.



**Obr. 2.2** *Struktura buněčné membrány*

Funkce plazmatické membrány jsou mnohočetné. Neslouží pouze k zajištění kontaktu s mimobuněčným prostředím (včetně rozpoznávání hormonů aj. informačních molekul), ale také **ohraničuje** nitro buňky a zajišťuje její **celistvost**. Do určité míry **uchovává tvar** buňky (spolu se strukturami cytoskeletu, který tvoří jakousi „buněčnou kostru a svaly“), umožňuje **vzájemné spojení buněk**, podílí se na **udržování vnitřního prostředí** v buňce, **příjmu a výdeji látek** a v neposlední řadě **chrání** buňku před zevními vlivy.

Základní složka plazmatické membrány – **fosfolipidová dvojvrstva** (s podílem cholesterolu a dalších lipidů) – je asymetrická. Jinými slovy buněčná membrána „hledí“ jinou částí ven a jinou částí dovnitř.

Další nedílnou součástí buněčné membrány jsou membránové **proteiny** (bílkoviny). Některé z nich procházejí skrz fosfolipidovou dvojvrstvu, jiné jsou do ní zanořeny z vnější či vnitřní strany.

Na zevní stranu plazmatické membrány jsou vázány **cukry** (s proteiny ve formě glykoproteinů a s lipidy ve formě glykolipidů).

Buněčná membrána je vysoce dynamicky proměnlivá **struktura**. Podléhá neustálé přestavbě – její části se přesouvají, zanikají a znovu se obnovují. Děje se tak v důsledku dějů uvnitř buňky, ale i v jejím okolí. Protože je buněčná membrána složena ze základních stavebních prvků, které neustále mění svoji polohu, počet apod., přirovnává se často k „**tekuté mozaice**“ (základem tekuté mozaiky je fosfolipidová dvojvrstva, do níž jsou mozaikovitě zabudované pohyblivé proteiny).

Buňka na svém povrchu (resp. plazmatické membráně) odráží to, co se děje v ní, ale i co se děje v jejím okolí. A přeneseně bychom ji možná mohli přirovnat k „buněčnému obličejí“ – náš obličej také odráží, co se děje kolem nás nebo v nás. Nebo na nás není poznat, když se nám něco líbí, nebo nelíbí? Když vevnitř prožíváme radost, nebo smutek? Pochopitelně, že je daná otázka nepoměrně složitější (můžeme se např. usmívat, přestože jsme smutní). A stejně tak je nepoměrně složitější také oblast plazmatické membrány...

O tom, zda buňka zachytí signál a bude na něj popřípadě reagovat, zdaleka nerozhoduje pouze fakt, že daná informace přijde, ale rovněž to, zda má pro daný typ informace **specifické buněčné receptory** (vesměs bílkovinné povahy). Bez receptoru je buňka k dané informaci „slepá a hluchá“.

Stejně tak pokud dostanete dopis a nemáte brýle, které nezbytně potřebujete, moc si pravděpodobně nepočtete.

Buněčné receptory obecně mohou reagovat na **signály chemické** (tj. rozmanité chemické látky) nebo **fyzikální** (tj. světlo, teplo či mechanické podněty – jako jsou např. ohnutí, vibrace, tlak).

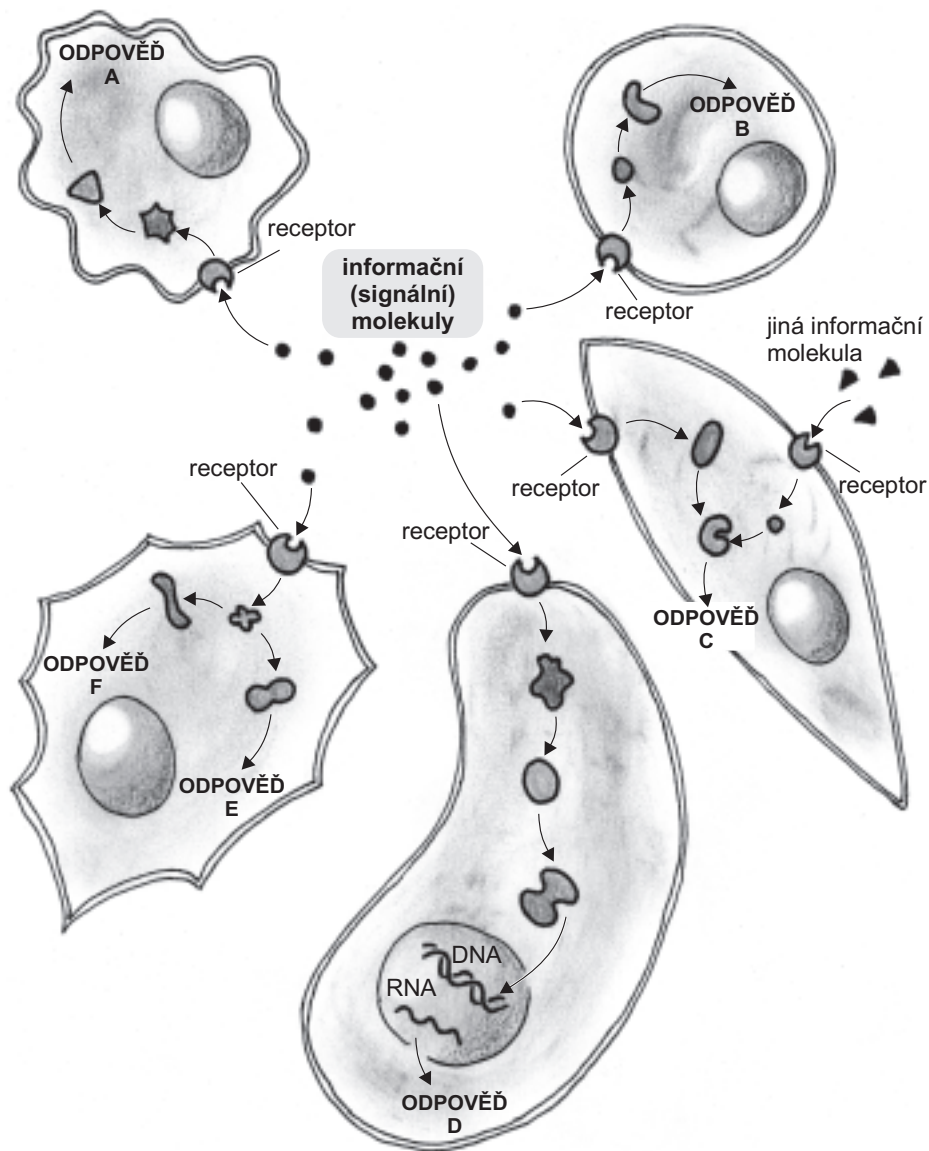
Některé receptory rozeznávají specifickou chemickou **strukturu antigenů**, které určují „vlastní a cizí“ a dále „vlastní zdravé a vlastní nemocné“. To má nesmírný význam v rámci imunitních dějů, proto se danému věnujeme mírně podrobněji na jiném místě knihy.

Komplikovanost reaktivity buněk je dále zvyšována tím, že signál, který buňka přijímá, se zpravidla zapojuje do dalších složitých nitrobuněčných kaskád. **V různých buňkách** pak v konečném důsledku vede působení stejného signálu **k odlišným výsledkům** (např. působením acetylcholinu sníží srdeční svalovina frekvenci svých stahů, buňka slinné žlázy začne produkovat sliny).

Pro **jeden signál** většinou existuje **více různých receptorů** – a každý pak má na fungování buňky jiný dopad. Takže např. zmíněný acetylcholin může působit i na jiné typy receptorů a vyvolá stah buněk kosterních svalů.

**Zachycení signálu** receptorovým proteinem buňky tak můžeme považovat za první krok „práce“ buňky s informací. Receptorový protein přenáší signál dovnitř buňky a zahajuje kaskádu dalších reakcí.





*Obr. 2.3 Nitrobuněčná signální kaskáda*

**Signální kaskádou** (řetězcem) následných nitrobuněčných reakcí dále dochází k **přenosu** signálu uvnitř buňky, jeho **transformaci** do podoby nitrobuněčných molekul, **zesílení** (čímž jedna signální molekula „rozšíří“ míru svého působení), **přepojení** do více nitrobuněčných dějů (jeden signál tak může ovlivnit několik procesů v buňce) a konečně **odpovědi** buňky na daný signál.

Výsledkem působení prvotního signálu mohou být **funkční** nebo **strukturální změny** buňky. Může dojít ke změně v metabolismu a produkci určitých látek, aktivaci určitých genů, a naopak blokování jiných apod.

Na všech úrovních je tento **proces modulovatelný** (ovlivnitelný) řadou podmínek, procesů a faktorů jak v buňce samotné, tak v jejím okolí.

Většina membránových receptorů patří do jedné ze tří **receptorových superrodin** (označujeme tak receptory podobné či „příbuzné“ struktury). Jsou to:

- **Membránové receptory spojené s iontovými kanály** otevírají nebo zavírají membránové kanály, kterými procházejí určité ionty (kladné kationty nebo záporné anionty). Mimo jiné umožňují řízený převod signálů chemických na elektrické (neboť elektrické potenciály buňky jsou přímo závislé na koncentracích a toku iontů uvnitř a vně buňky).
- **Membránové receptory spojené s G-proteiny** jsou další, početnou skupinou membránových receptorů. Jejich aktivace spouští kaskády nitrobuněčných reakcí, během kterých jeden stupeň kaskády aktivuje další (a je tím mimo jiné zajištěna posloupnost kroků). Vznikají další nitrobuněční chemičtí poslové, kteří mají informační funkci. Patří k nim řada látek – např. cAMP (cyklický adenosinmonofosfát),  $\text{Ca}^{2+}$  (vápenaté) ionty, DAG (diacylglycerol),  $\text{IP}_3$  (inositoltrifosfát).
- **Membránové receptory spojené s vlastní enzymatickou aktivitou a s dalšími enzymy** vstupují do řady metabolických dějů, které jsou příslušnými enzymy katalyzovány.

Signální molekulu, která se váže na rozměrově větší receptor a vede ke změně jeho prostorové struktury (konformace), označujeme také jako **ligand**. Samotná změna tvaru **aktivuje** mnohé receptory nebo jim umožňuje působit na jiné buněčné proteiny a vstupovat do dalších pochodů v buňce. Plazmatická membrána – přesněji její receptory – tak hrají aktivní roli **přijímače signálů**.

Naprostá většina signálů je zachycována receptory plazmatické membrány a nedostává se do nitra buňky přímo – hovoříme o **receptorech membránových**. Existují však i takové **signální molekuly**, které **pronikají až do nitra buňky**. Zde reagují s receptory, které leží v cytoplazmě buňky nebo v buněčném jádře – pak se jedná o **receptory cytoplazmatické**.

Z neznámějších látek, které pronikají k cytoplazmatickým receptorům, uveďme jako příklad **steroidní hormony** (kam patří kortizol, estradiol, testosteron aj.) nebo **hormon štítné žlázy** (tyroxin).

Jakmile se příslušný hormon naváže ke „svému“ receptoru, změní tento svoji konformaci (prostorový tvar). To umožní další krok – vazbu na jeho regulační sekvence jaderné DNA. Následně dojde k **aktivaci**, nebo naopak **inhibici** vybraného **souboru genů**.

Ovlivnění aktivity genů je v buňce velmi mocným procesem. Právě geny totiž kódují strukturu enzymů, regulačních bílkovin apod. Takže ovlivnění jednoho genu může často mít „dalekosáhlé“ důsledky.

Odpověď buňky prostřednictvím ovlivnění genů je sice velmi účinná, ale vyžaduje určitý čas (potřebný k proběhnutí celé kaskády). Buňka však mnohdy „nemá čas“ a musí odpovědět během velmi krátké doby.

### 2.1.1 ROZLIŠENÍ VLASTNÍHO A CIZÍHO

Ty látky, které mohou být rozpoznány buňkami imunitního systému (bílymi krvinkami – leukocyty) a mohou proti nim být tvořeny protilátky, nazýváme **antigeny** (pojem je odvozen ze slova *antigenum*, které je tvořeno z řeckého *anti* – proti a *gennān* – tvořit, plodit).

Jako antigeny se chovají mikroorganismy nebo jejich části, bílkoviny, různé struktury buněk apod.

Naše bílé krvinky jsou schopné **rozlišit** obrovské množství rozmanitých antigenů. Tato schopnost patří k **základním pilířům imunitní obrany**.

Právě schopnost **rozlišovat vlastní a cizí antigeny** je pro zachování zdraví a života nezastupitelná. Proti cizorodým (nebo vlastním poškozeným) strukturám je zahájena obranná imunitní reakce. Vlastní zdravé struktury jsou v rámci **autotolerance** snášeny a tolerovány.

K „závadám“ imunity patří mimo jiné tzv. **autoimunitní poruchy**. Imunitní reakce je při nich zaměřena proti strukturám vlastního těla jako proti nepříteli (který je pak likvidován vlastními bílymi krvinkami).

V případě tzv. **přecitlivělosti (alergie)** je imunitní reakce natolik přemrštěná, že sama poškozuje organismus (např. výrazným otokem dýchacích cest může člověka udusit).

Řada antigenních struktur je přímou **součástí buněčné membrány** lidských buněk. Jejich základem jsou vesměs proteiny. A právě tyto druhově a individuálně specifické **antigeny buněčných membrán** – tzv. **HLA** antigeny (neboli **MHC** antigeny) – umožňují bílým krvinkám poznat buňky vlastní a cizí a dále vlastní buňky zdravé, nemocné nebo mrtvé.

Zkratka **HLA** pochází z anglického **H**uman **L**eukocyte **A**ntigens (lidské leukocytární antigeny) – neboť tyto antigeny byly objeveny nejprve na buněčných membránách lidských leukocytů. Později byly nalezeny také na jiných buňkách lidského těla.

Zkratka **MHC** vznikla z označení **M**ajor **H**istocompatibility **C**omplex (hlavní histokompatibilní komplex).

S oběma zkratkami se v odborné literatuře můžete setkat.

Antigeny MHC jsou z chemického hlediska **glykoproteiny** (tedy bílkoviny s navázanou cukernou složkou). Geny, které kódují jejich strukturu, najdeme u člověka na šestém chromozomu.

Podle funkce a umístění na konkrétních buňkách dělíme HLA antigeny do **dvou tříd**:

- **HLA antigeny I. třídy** jsou součástí buněčných membrán všech jaderných buněk. Členíme je dále na **HLA-A**, **HLA-B** a **HLA-C**.
- **HLA antigeny II. třídy** najdeme jen na bílých krvinkách (respektive na makrofázech, lymfocytech typu B a aktivovaných lymfocytech typu T). Rozlišujeme zde antigeny **HLA-DR**, **HLA-DQ** a **HLA-DP**.

Bylo popsáno několik desítek konkrétních HLA antigenů jednotlivých typů. Každý člověk má svou, **individuálně „namíchanou“ kombinaci HLA** antigenů (s polovinou od otce a polovinou od matky). Vzhledem k obrovskému množství kombinací je úplná shoda v HLA systému možná prakticky pouze u jednovaječných dvojčat (nebo klonovaných jedinců).

Jak bílé krvinky poznávají vlastní a cizí? Činí tak pomocí **HLA antigenů I. třídy**. Zjednodušeně bychom mohli říci, že leukocyty „ochytávají“ (neboli svými receptory dotykově kontrolují) plazmatické membrány ostatních buněk těla. Tím zjišťují, zda je buňka „naše“, nebo „cizí“. Pokud se kontrolovaná buňka „prokáže“ HLA antigeny I. třídy, dokazuje tím, že patří k tělu. Prochází tak prvním kontrolním sítím.

Pro ilustrativní představu bychom to mohli přirovnat k silniční kontrole: máme-li řidičský průkaz, je první krok kontroly za námi.

A bílá krvinka pak dále hledá antigeny, prokazující nemoc, poškození a smrt. Obrazně se „ptá“ dál: „Jsi naše, ale jsi živá a zdravá nebo nemocná či mrtvá?“ Pokud nenajde znaky poruchy, nemoci nebo smrti, ukončuje kontakt, „propouští buňku“ a přesouvá se ke kontrole další.

V přirovnání k silniční kontrole by to představovalo kontrolu technického stavu a vybavení vozu, popřípadě způsobilosti řidiče pokračovat v jízdě. Pokud kontrola neshledá závady, „propouští“ řidiče a čeká na jiného.

Ani kontrola lidskými leukocyty, ani kontrola silniční však není vždy na 100 %. A někdo, kdo by neměl, kontrolním sítím projde...

Pokud buňka nemá příslušné HLA antigeny I. třídy, je rozpoznána jako cizí a je určena k **likvidaci**.

Pokud sice prokáže příslušnost k tělu shodnými HLA antigeny, ale bílá krvinka zároveň najde antigeny, které se na membránách objevují v souvislosti s nemocí, stářím nebo smrtí, je příslušná buňka rovněž určena k **likvidaci**.

Otázka HLA antigenů hraje v současnosti významnou roli zejména v souvislosti s **transplantacemi**. Orgány přenesené (transplantované) z těla dárce do těla příjemce musejí mít co největší shodu v MHC systému.

Připomínáme, že úplná shoda HLA antigenů je možná jen v případě jednovaječných dvojčat. Proto existují mezinárodní registry čekatelů na transplantaci a v případě vhodného orgánu je vybírán nejvhodnější (tedy HLA nejpodobnější) čekatel – třeba na druhé straně Země.