

# Inhalt

## 1 Das Immunsystem

|       |                                                                    |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1   | Bedeutung des Immunsystems                                         | 1  |
| 1.2   | Das Immunsystem unterscheidet zwischen körpereigen und körperfremd | 3  |
| 1.3   | Der Hämatopoetische Stammbaum                                      | 4  |
| 1.4   | Lymphatische Organe                                                | 8  |
| 1.4.1 | Lymphknoten                                                        | 11 |
| 1.4.2 | Milz                                                               | 13 |
| 1.4.3 | Immunabwehr in der Haut                                            | 15 |
| 1.4.4 | Immunabwehr in der Mukosa                                          | 18 |
| 1.4.5 | Thymus                                                             | 20 |
| 1.5   | Die Wanderung von Lymphozyten zwischen Blut und Lymphe             | 22 |
| 1.6   | Angeborene und erworbene Immunität                                 | 24 |
|       | Aufgaben                                                           | 27 |
|       | Spezielle Literatur                                                | 27 |

## 2 Rezeptoren des Immunsystems

|       |                                                       |    |
|-------|-------------------------------------------------------|----|
| 2.1   | Rezeptoren der angeborenen Immunität                  | 29 |
| 2.2   | Rezeptoren der erworbenen Immunität                   | 35 |
| 2.2.1 | Aufbau von Antikörpern                                | 36 |
| 2.2.2 | Antikörperklassen                                     | 42 |
| 2.2.3 | Antikörpervielfalt                                    | 46 |
| 2.3   | Der T-Zell Rezeptor                                   | 60 |
| 2.3.1 | Aufbau des T-Zell Rezeptors                           | 60 |
| 2.3.2 | Die T-Zell Rezeptor Vielfalt                          | 60 |
| 2.4   | Der MHC                                               | 63 |
| 2.4.1 | Die genomische Organisation des MHC                   | 64 |
| 2.4.2 | Die Struktur von MHC-I und -II Molekülen              | 69 |
| 2.4.3 | Die Nomenklatur von MHC-I und -II Molekülen           | 70 |
| 2.4.4 | Die Bindungseigenschaften von MHC-I und -II Molekülen | 72 |
| 2.4.5 | Der MHC-I und -II Prozessierungsweg                   | 72 |
| 2.4.6 | Die MHC-Restriktion                                   | 78 |
| 2.5   | MHC Klasse-I ähnliche Rezeptoren                      | 80 |
| 2.5.1 | CD1: Lipidpräsentierende Rezeptoren                   | 80 |

|       |                                                                                 |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.2 | HLA-G und HLA-E: Bedeutsam für die Schwangerschaft .....                        | 81 |
| 2.5.3 | M10 Proteine: Teil eines „intrinsischen<br>Partnervermittlungsapparates“? ..... | 82 |
|       | Aufgaben .....                                                                  | 85 |
|       | Spezielle Literatur .....                                                       | 85 |

### **3 Entwicklung und Aktivierung von T-Zellen**

|       |                                                                |     |
|-------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1   | Entwicklung von T-Zellen .....                                 | 87  |
| 3.1.1 | Thymopoese im Überblick .....                                  | 89  |
| 3.1.2 | Bedeutung von $\gamma\delta$ -T-Zellen .....                   | 90  |
| 3.1.3 | NKT-Zellen und regulatorische T-Zellen .....                   | 90  |
| 3.1.4 | Der T-Zell Rezeptorkomplex .....                               | 92  |
| 3.2   | Aktivierung von CD4 <sup>+</sup> T-Zellen .....                | 92  |
| 3.2.1 | Aktivierung von CD8 <sup>+</sup> T-Zellen .....                | 96  |
| 3.2.2 | Die B7/CD28 Familie .....                                      | 98  |
| 3.3   | Gedächtnis T-Zellen .....                                      | 101 |
| 3.4   | Die immunologische Synapse .....                               | 102 |
| 3.5   | Adhäsionsmoleküle .....                                        | 102 |
| 3.6   | Signaltransduktionskaskade .....                               | 103 |
| 3.7   | Bedeutung von T-Helfer Zellen und zytotoxischen T-Zellen ..... | 110 |
|       | Aufgaben .....                                                 | 113 |
|       | Spezielle Literatur .....                                      | 114 |

### **4 Entwicklung und Aktivierung von B-Zellen**

|       |                                                                     |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1   | Entwicklung von B-Zellen .....                                      | 115 |
| 4.2   | Der B-Zell Rezeptor Komplex .....                                   | 117 |
| 4.3   | B-Zell Aktivierung .....                                            | 119 |
| 4.3.1 | Thymus abhängige und Thymus unabhängige Antigene .....              | 126 |
| 4.4   | Signaltransduktion durch Thymus abhängige Antigene .....            | 128 |
| 4.5   | Komplementrezeptor vermittelte Signaltransduktion in B-Zellen ..... | 129 |
| 4.6   | B1 B-Lymphozyten .....                                              | 131 |
| 4.7   | Toll-like Rezeptoren und B-Zell Aktivierung .....                   | 132 |
|       | Aufgaben .....                                                      | 133 |
|       | Spezielle Literatur .....                                           | 134 |

### **5 Effektorreaktionen von angeborener und erworbener Immunität**

|       |                                         |     |
|-------|-----------------------------------------|-----|
| 5.1   | Allgemeines .....                       | 137 |
| 5.2   | Das Komplementsystem .....              | 138 |
| 5.2.1 | Aktivierung des Komplementsystems ..... | 140 |
| 5.2.2 | Anaphylatoxine .....                    | 145 |
| 5.2.3 | Komplementrezeptoren .....              | 147 |

|       |                                                                                             |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.4 | Komplementproteine werden auf körpereigenen Zellen inaktiviert                              | 149 |
| 5.3   | Cytokine                                                                                    | 150 |
| 5.3.1 | Cytokinrezeptoren                                                                           | 154 |
| 5.4   | Natürliche Killerzellen (NK-Zellen)                                                         | 157 |
| 5.5   | Aktivierung von Makrophagen durch LPS                                                       | 160 |
| 5.6   | Aktivierung von Makrophagen durch $T_H^1$ -Zellen<br>(Effektorreaktion von $T_H^1$ -Zellen) | 166 |
| 5.7   | Effektorreaktion von zytotoxischen $CD8^+$ T-Zellen                                         | 170 |
| 5.8   | Infektion und Bekämpfung: $CD4^+$ T-Zellen im Überblick                                     | 173 |
| 5.9   | Infektion und Bekämpfung: $CD8^+$ T-Zellen im Überblick                                     | 175 |
|       | Aufgaben                                                                                    | 180 |
|       | Spezielle Literatur                                                                         | 180 |

## **6 Toleranz, Transplantatabstoßung, Allergie, Autoimmunität, HIV und AIDS**

|       |                                                                                        |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1   | Zentrale und periphere T-Zell Toleranz                                                 | 181 |
| 6.2   | Zentrale und periphere B-Zell Toleranz                                                 | 185 |
| 6.3   | Transplantatabstoßung                                                                  | 187 |
| 6.3.1 | Die hyperakute Transplantatabstoßung                                                   | 189 |
| 6.3.2 | Die T-Zell vermittelte, akute Transplantatabstoßung                                    | 193 |
| 6.3.3 | Die T-Zell vermittelte, langsame Transplantatabstoßung                                 | 193 |
| 6.3.4 | Reaktionen des Transplantates gegen den Empfänger:<br><i>graft versus host disease</i> | 194 |
| 6.4   | Allergie und Autoimmunität                                                             | 194 |
| 6.4.1 | Typ-I Hypersensitivität                                                                | 198 |
| 6.5   | Entstehung von Autoimmunerkrankungen                                                   | 209 |
| 6.5.1 | Beispiele für Autoimmunerkrankungen                                                    | 214 |
| 6.6   | HIV und AIDS                                                                           | 223 |
| 6.6.1 | Epidemiologie                                                                          | 224 |
| 6.6.2 | Aufbau des HI-Virus                                                                    | 225 |
| 6.6.3 | Genomische Organisation                                                                | 227 |
| 6.6.4 | Der virale Lebenszyklus                                                                | 228 |
| 6.6.5 | Klinischer Verlauf einer unbehandelten HIV-Infektion                                   | 234 |
| 6.6.6 | HIV Pathogenese                                                                        | 234 |
| 6.6.7 | Therapie                                                                               | 237 |
|       | Aufgaben                                                                               | 239 |
|       | Spezielle Literatur                                                                    | 242 |

## **7 Das Immunsystem der Invertebraten**

|       |                                                           |     |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 7.1   | Zelluläre Bestandteile des Immunsystems der Invertebraten | 245 |
| 7.2   | Immunozyten: Zelluläre Effektorreaktionen                 | 247 |
| 7.2.1 | Phagozytose                                               | 247 |
| 7.2.2 | Kapselbildung durch Immunozyten                           | 250 |

|       |                                                                                |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.3 | Bildung von Granulomen .....                                                   | 252 |
| 7.3   | Humorale Effektormoleküle des Immunsystems der Invertebraten .....             | 252 |
| 7.3.1 | Antimikrobielle Polypeptide .....                                              | 252 |
| 7.3.2 | Agglutinine .....                                                              | 253 |
| 7.3.3 | Das Prophenoloxidase aktivierende System .....                                 | 253 |
| 7.3.4 | Cytokine, Neuropeptide und Opioide .....                                       | 254 |
| 7.3.5 | Komplement ähnliche Faktoren .....                                             | 254 |
| 7.4   | Toll und die Evolution des angeborenen Immunsystems .....                      | 255 |
| 7.4.1 | Toll und der Interleukin-1 Rezeptor .....                                      | 257 |
| 7.4.2 | Signaltransduktion durch Toll und dem Interleukin-1 Rezeptor .....             | 258 |
| 7.5   | Toll Rezeptoren: Regulatoren von angeborener<br>und erworbener Immunität ..... | 262 |
| 7.6   | Invertebraten und der Ursprung der adaptiven Immunität .....                   | 267 |
|       | Aufgaben .....                                                                 | 268 |
|       | Spezielle Literatur .....                                                      | 269 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>Literaturverzeichnis</b> ..... | 271 |
|-----------------------------------|-----|

## **Anhang A**

|                |     |
|----------------|-----|
| Lösungen ..... | 273 |
|----------------|-----|

## **Anhang B**

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| Nobelpreise für immunologische Forschung ..... | 277 |
|------------------------------------------------|-----|

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <b>Index</b> ..... | 279 |
|--------------------|-----|



<http://www.springer.com/978-3-540-72568-8>

Immunbiologie

Eine Einführung

Neumann, J.

2008, X, 286 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-72568-8