



## Immunglobulin G

<b>Akronym</b>	IgG
<b>Testparameter</b>	IgG (Serum) IgG (Liquor) IgG (Urin)
<b>Material</b>	<u>Serum</u> , 1 mL <u>Liquor</u> , 1 mL <u>Urin</u> , 10 mL

### Referenzbereich

<b>Serum</b>	<b>[mg/dL]</b>
0 Monate - 1 Monat	390 - 1.750
1 Monat - 2 Monate	250 - 680
2 Monate - 3 Monate	200 - 550
3 Monate - 4 Monate	200 - 540
4 Monate - 5 Monate	220 - 600
5 Monate - 6 Monate	260 - 690
6 Monate - 7 Monate	290 - 770
7 Monate - 8 Monate	320 - 840
8 Monate - 9 Monate	330 - 880
9 Monate - 10 Monate	350 - 910
10 Monate - 11 Monate	350 - 930
11 Monate - 12 Monate	360 - 950
1 Jahr - 2 Jahre	470 - 1.230
2 Jahre - 4 Jahre	540 - 1.340
4 Jahre - 6 Jahre	590 - 1.430
6 Jahre - 8 Jahre	630 - 1.500
8 Jahre - 10 Jahre	670 - 1.530
10 Jahre - 12 Jahre	700 - 1.550
12 Jahre - 14 Jahre	710 - 1.560
14 Jahre - 16 Jahre	720 - 1.560
16 Jahre - 18 Jahre	730 - 1.550
> 18 Jahre	700 - 1.600
<b>Liquor</b>	<b>[mg/dL]</b>
< 14 Jahre	0,17 - 3,00
> 14 Jahre	< 3,40
<b>Urin</b>	<b>[mg/L]</b>
	< 8,50
<b>Urin</b>	<b>[mg/g Kreatinin]</b>
	< 9,00

**SI-Einheiten** Berechnung



## Immunglobulin G

<b>Methode</b>	Turbidimetrie (Serum), <u>NEPH</u> (Liquor)
<b>Qualitätskontrolle</b>	<u>Zertifikat Serum</u> <u>Zertifikat Urin</u> <u>Zertifikat (Liquor)</u>
<b>Siehe auch</b>	<u>Antikörper-Isotypen</u>
<b>Anforderungsschein</b>	<u>Download</u> und <u>Analysenposition</u> <u>Download</u> und <u>Analysenposition</u>
<b>Auskünfte</b>	Klinische Chemie und Toxikologie, <u>Immunchemie</u>
<b>Indikationen</b>	<p><b>Serum:</b> Hyper- und Hypogammaglobulinämien (Serumeiweißelektrophorese). Erhöhte Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit. V. a. Antikörpermangelsyndrom. Therapie- und Verlaufskontrolle bei monoklonalen Gammopathien (MGUS, Plasmazelltumoren). Zustand nach Transplantation, immunsuppressive Therapie.</p> <p><b>Urin:</b> In Zusammenhang mit Albumin- oder Transferrinbestimmung im Urin zur Beurteilung der Selektivität einer Proteinurie.</p> <p><b>Liquor:</b> Diagnostik und Verlaufsbeobachtung von akuten und chronischen Entzündungen des ZNS (siehe Liquorprotein-Diagnostik).</p>
<b>Erhöhte Werte</b>	<p><b>Serum:</b> Monoklonale Gammopathie (Typ IgG). Chronische Hepatitis, Leberzirrhose, Rheumatisches Fieber (Karditis), rheumatoide Arthritis, entzündliche rheumatische Erkrankungen (systemischer Lupus erythematodes, systemische Sklerose, Sjögren-Syndrom). Glomerulonephritis, chronische Pyelonephritis, chronische Infektionserkrankungen, Sarkoidose, Mukoviszidose, Morbus Hodgkin. Polyzythämia vera, Kryoglobulinämie, Wiskott-Aldrich-Syndrom, Sichelzellanämie, idiopathische thrombozytopenische Purpura.</p> <p><b>Urin:</b> Mit erhöhter Albumin- und Transferrinausscheidung bei glomerulären Proteinurien, Glomerulonephritis, nephrotischem Syndrom, Schwangerschaftsnephropathie, Diabetes mellitus, Nierenvenenthrombose, konnataler Nephrose, Nierenamyloidose, Purpura Schönlein-Henoch, Morbus Wegener, systemischem Lupus erythematodes. Ohne erhöhte Transferrinausscheidung bei postrenaler IgG-Sekretion, bei Infekten der ableitenden Harnwege, postrenalen Blutungen (siehe <u>IgG/Albumin-Quotient</u>).</p> <p><b>Liquor:</b> Tuberkulöse Meningitis, Virusenzephalitis (Herpes simplex, Varizella-Zoster, Mumps, Frühsommer-Meningoenzephalitis), subakute sklerosierende Panenzephalitis, Neurosyphilis, akute und chronische Neuroborreliose, HIV-Enzephalitis, opportunistische Infektionen (Toxoplasmose, Cytomegalie), multiple Sklerose.</p>
<b>Erniedrigte Werte</b>	<p><b>Serum:</b> Konnatales Antikörpermangelsyndrom (Morbus Bruton, Schweizer Typ), selektive IgG-Defizienz, Ataxia teleangiectatica (Louis-Bar Syndrom, mit IgG- und IgA-Mangel), Hyper-IgM-Syndrom, transitorische Hypogammaglobulinämie des Säuglings, Dysgammaglobulinämien im Kindesalter (Infekte, Pyelonephritis), nephrotisches Syndrom, monoklonale Gammopathie anderer Immunglobulin-Klassen, Schwerketten (IgA) -Gammopathie, Morbus Waldenström, Nezeloff-Syndrom, Myotonia atrophica, Proteinverlust-Enteropathie, fokale und minimal change Glomerulonephritis, Präeklampsie. Sekundärer Antikörpermangel bei immunsuppressiver und zytostatischer Therapie, sowie Splenektomie, Virusinfektionen, Malnutrition.</p>
<b>Pathophysiologie</b>	Immunglobulin G (IgG, Mr 146 - 155 kDa), das Immunglobulin mit der höchsten Serumkonzentration und einem Anteil von etwa 75 % an den gesamten Immunglobuli-



## Immunglobulin G

nen, kommt in 4 Subklassen IgG<sub>1</sub>-IgG<sub>4</sub> vor, die sich durch unterschiedliche biologische Eigenschaften wie Komplementaktivierung, Serumkonzentration, Plazentapassage, Rezeptorenbindung (FcγRI, FcγRII, FcγRIII) unterscheiden. Die Halbwertszeit in der Blutbahn beträgt etwa 21 - 23 Tage für IgG<sub>1,2,4</sub> und 7 - 8 Tage für IgG<sub>3</sub>. Nur 44 % des IgG sind intravasal, der Rest befindet sich im Interstitium.

Der Katabolismus des IgG ist abhängig von der Plasmakonzentration, er ist bei hohen Konzentrationen beschleunigt, die Halbwertszeit ist dann verringert. In der Serumweißelektrophorese wandert das bei pH 8,6 von allen Serumproteinen am schwächsten negativ geladene IgG nur wenig anodisch und kathodisch (Endoosmose). IgG<sub>2</sub> und IgG<sub>4</sub> wandern anodisch, IgG<sub>1</sub> und IgG<sub>3</sub> kathodisch. Aufgrund seiner Heterogenität zeigt IgG eine breitbasige elektrophoretische Verteilung, die sich von α<sub>2</sub>-Globulinen bis in den Kathodenbereich erstreckt.

IgG kann sich an die Membranrezeptoren vieler Zellen binden. Es dient dadurch der Phagozytose antikörperbeladener (opsonisierter) Partikel durch Monozyten, Makrophagen und neutrophile Granulozyten, der antikörperabhängigen zellulären Zytotoxizität (ADCC; Monozyten, Lymphozyten, Makrophagen) oder der Rückkoppelungskontrolle der Antikörpersynthese. IgG kann sich auch an Zellwandproteine von Bakterien binden (Protein A von *Staphylokokkus aureus*).

Antigenspezifisches IgG tritt bei der primären Immunantwort in der Regel nach, bei der sekundären Immunantwort zusammen mit oder vor dem antigenspezifischem IgM auf.

Das fetale IgG entstammt dem mütterlichen Blut. Ab der 28. Schwangerschaftswoche entspricht die Konzentration des fetalen IgG dem des mütterlichen Blutes. Nach der Geburt fällt die IgG-Konzentration im kindlichen Blut entsprechend seiner Halbwertszeit von 21 Tagen ab, steigt mit dem Beginn der eigenen Synthese ab dem 6. Lebensmonat wieder an.

### Immunpathologie

Die Immunglobuline (Ig) werden aufgrund der unterschiedlichen Struktur ihrer Schwerekettenanteile in die Isotypen IgA, IgD, IgE, IgG und IgM unterteilt. IgG besteht aus den Subklassen IgG<sub>1</sub>-IgG<sub>4</sub> und IgA aus den Subklassen IgA<sub>1</sub> und IgA<sub>2</sub>. Kovalent an die Schwereketten gebunden sind die Ig-Leichtketten κ und λ. Die Ig-Schwer- und Leichtketten werden von unterschiedlichen Genen auf verschiedenen Chromosomen kodiert. Das komplette, eine Schwer- oder Leichtkette kodierende Gen wird aus verschiedenen Bereichen des Gens zusammengefügt (Genum-ordnung, Rekombination).

Die Ig-Leichtketten werden aus drei verschiedenen Genmodulen zusammengesetzt, der variablen Region der Leichtkette (VL), der Verbindungs (joining) -Region (JL) und der konstanten Region (CL). Analog dazu werden die Schwereketten-Genmodule als VH, JH und CH bezeichnet. Ein zusätzliches Schwereketten-Genmodul ist die Diversitäts-Region (D).

Die konstante Region der Schwerekette kennzeichnet die Immunglobulin-Klasse (Isotyp) bzw. Subklasse und ist einheitlich für alle Immunglobuline einer Ig-Klasse oder -Subklasse. Sie bestimmt die verschiedenen Effektorfunktionen der Immunglobuline wie Komplementbindung, Plazentapassage oder die Bindung an zelluläre Rezeptoren (Fc-Rezeptoren auf Granulozyten, Basophilen, Leukozyten, Mastzellen). Die J- und D-Region liegen zwischen den V- und C-Regionen. Die variablen Regionen der Schwer- und Leichtketten tragen die Antigenbindungsstellen, die von je drei Se-



## Immunglobulin G

quenzmotiven auf den Schwer- und Leichtketten gebildet werden. Sie werden als Komplementarität determinierende Regionen (complementarity determining regions, CDR1, CDR2 und CDR3) bezeichnet.

Die genomische Organisation der Leicht- und Schwerketten ist vergleichbar. Der  $\kappa$ -Lokus auf Chromosom 2 besteht aus 49 funktionell aktiven V- $\kappa$ -Genen. Die V- $\kappa$ -Gene sind gefolgt von 5 J- $\kappa$ -Genen und einem C- $\kappa$ -Gen. Der  $\lambda$ -Lokus auf Chromosom 22 besteht aus 33 funktionellen aktiven V- $\lambda$ -Genen, 7 J- $\lambda$ -Genen und 7 C- $\lambda$ -Genen (einige davon sind Pseudogene). Der Schwerketten-Genlocus auf Chromosom 14 besteht aus 39 funktionell aktiven VH-Genen, 27 D-Genen, 6 JH-Genen und 9 CH-Genen. Jedes dieser CH-Gene kodiert eine Ig-Klasse oder -Subklasse.

Während der Ontogenese kommt es zu einer nur für Immunzellen typischen Rekombination der kodierenden Gene. Diese für das Immunsystem einzigartige im Verlauf der Ontogenese stattfindende genetische Rekombination ist der grundlegende Entwicklungsprozess, der die außerordentliche Diversität des Immunsystems (Erkennung von  $10^9$  verschiedenen Antigen determinanten) gewährleistet. Diese Rekombination ist notwendig, um exprimierbare Schwer- und Leichtkettengene zu erhalten. Die einzelnen, zufällig ausgewählten Genmodule werden durch den Prozess der Rekombination neu zusammengefügt. Bei der Schwerketten-D-JH-Umlagerung wird das 3' Ende der D-Region an das 5' Ende der JH-Region angefügt. Als nächstes wird das 3' Ende der VH-Region an das rekombinierte DJH-Gen angehängt (V-DJH-Rekombination). Die Leichtketten benötigen nur eine VL-/JL-Rekombination.

### Antikörperdiversität

An der Ausbildung der Antikörperdiversität sind mehrere genetische Prozesse beteiligt:

- ▶ Es bestehen multiple V, D und J Gene (Keimbahn-kodierte Diversität): Bei der VDJH-Rekombination können 39 funktionelle VH-Gene, 27 D-Gene und 6 JH-Gene kombiniert werden. Jede VH-Region kann mit jeder D-Region und jede D-Region mit jeder JH-Region kombinieren, so können theoretisch 6084 unterschiedliche VDJ-Einheiten entstehen. Durch eine entsprechende Kombination der Leichtkettengene ergeben sich weitere diverse Moleküle.
- ▶ Eine weitere Möglichkeit zur Diversifizierung liegt in der unpräzisen Verbindung der Genmodule (rearrangement diversity). Die Verbindung zwischen der D- und JH-Region und der VH- und DJH-Region (analog dazu bei der Leichtkette, VL und JL) kann in den verschiedenen B-Lymphozyten an unterschiedlichen Positionen der Gensequenz erfolgen. Das Ergebnis sind differente Codons durch unterschiedliche Leseraster und variierende Längen der Gensegmente.
- ▶ Anfügen von nicht keimbahnkodierten Nukleotiden (N-Regionen). Nukleotide, die nicht von der genomischen DNA kodiert sind, können durch die terminale Deoxyribonukleotidyltransferase zusätzlich an den Gensegment-Verbindungen angehängt werden. Dies kann zu einer weiteren Diversität im Protein-Leseraster führen.
- ▶ Kombination der unterschiedlichen Schwer- und Leichtkettengene (kombinatorische Diversität). Durch die Diversität der Schwer- und Leichtketten (39 funktionelle VH-Gene und 82  $\kappa$ - und  $\lambda$ -Gene) ergeben sich 3198 mögliche Kombinationen. Da jedoch nicht alle Kombinationen funktionelle Antikörper liefern, wird nur eine 15- bis 30-fache Erhöhung der Diversität gegenüber der keimbahnkodierten Diversität erreicht.



## Immunglobulin G

Eine zusätzliche Steigerung der Diversität wird bei der Rekombination der dritten Komplementarität-determinierenden Regionen (CDR3) erhalten. CDR1 und CDR2 sind in der 5' Region der V-Gene kodiert und stellen die wichtigste keimbahn-kodierte Sequenzdiversität dar. CDR3 erstreckt sich vom 3' Ende der VH-Region über die D-Region bis zum 5' Ende der JH-Region. CDR3 wird im Gegensatz zu den präformierten CDR1 und CDR2-Regionen während der VDJ-Umlagerung der Ig-Segmente (V, D, J) gebildet. Hierbei können weitere Modifikationen der Keimbahnsequenz auftreten, die zu einer zusätzlichen Diversifizierung der Immunglobulinmoleküle führt.

- ▶ Somatische Mutationen sind ein weiterer wichtiger Mechanismus zur Erzeugung von Variationen in den V-Regionen, besonders den CDR's nach Umlagerung von VH und VL. Ein Gen kann so noch von weiteren Mutationen betroffen sein, die zum Teil zu einem Aminosäureaustausch führen und so die Affinität oder die Antigen-Spezifität verändern. Dieser Prozess ist für die Affinitätsreifung von Antikörpern von Bedeutung.
- ▶ Ein gene replacement kann nach der VDJ-Umlagerung während der Reife der B-Zellen und der Antikörperbildung eintreten (sekundäre Ig-Rekombination). Antikörper mit geringer Affinität können durch diesen sog. receptor editing Prozess eine höhere Affinität und Spezifität erreichen.
- ▶ Allel-Ausschluss (allelic exclusion): Von jedem Gen existieren in der Zelle zwei Kopien, somit wäre es möglich, dass die B-Zelle zwei verschiedene Ig-Schwerketten oder -Leichtketten produziert. Dies würde dazu führen, dass eine Zelle verschiedene Antikörper hervorbringt, was durch den Prozess des Allel-Ausschlusses verhindert wird. In den Vorläufer-B-Zellen findet die D-JH-Umlagerung auf beiden Schwerketten-Loci statt. Wenn auf dem ersten Chromosom eine V-DJH-Umlagerung stattgefunden hat, wird eine vollständige IgM-Schwerketten mRNA transkribiert, IgM-Schwerkettenprotein synthetisiert und auf der Zelloberfläche der Prä-B-Zelle exprimiert. Die Genumlagerung (V-DJH) auf dem zweiten Chromosom wird unterdrückt. Ist die erste IgM-Umlagerung erfolglos, kann der Locus auf dem zweiten Chromosom umgelagert werden. Sind beide Umlagerungen erfolglos, kann die Zelle keinen Antikörper synthetisieren und stirbt ab. Sobald die Schwerketten-Umlagerung abgeschlossen ist, erfolgt die Umlagerung der Leichtketten-gene. Gewöhnlich rekombinieren die  $\kappa$ - vor den  $\lambda$ - Ketten. Eine erfolgreiche  $\kappa$ - Kettenrekombination ermöglicht dann die Synthese eines kompletten Antikörpers. Falls die  $\kappa$ - Kettenrekombination erfolglos bleibt, rekombinieren die  $\lambda$ - Ketten.
- ▶ Immunglobulinklassen-Wechsel: Reife B-Zellen produzieren IgM und IgD. Der Wechsel zur IgG-, IgA- oder IgE-Synthese wird als Klassen-Switch bezeichnet. Es handelt sich dabei um eine stabile Veränderung im Genom unter Beibehaltung der Antigen-spezifität. Die parallele Synthese von IgM und IgD ist durch alternatives Spleißen der mRNA möglich. Der Ig-Klassenwechsel ist dagegen mit dem Vorgang der VDJH-Umlagerung vergleichbar.
- ▶ Wechsel von membranständigem Ig zu sezerniertem Ig. Der Unterschied zwischen diesen beiden Ig-Molekülen liegt in der C-terminalen Sequenz, wobei das membranständige Ig-Molekül einen Membranankeranteil besitzt, der dem sezernierten Ig-Molekül fehlt. Diese beiden verschiedenen Moleküle werden durch alternatives Spleißen ihrer mRNA erzeugt.



## Immunglobulin G

- ▶ Klonale Verteilung der B-Zellen. Jede reife B-Zelle repräsentiert einen genetisch distinkten Klon mit einer einzigartigen, einmaligen Ig-Schwer-, Leichtketten-Umlagerung und H-, L-Kettenkombination. Ausgehend von einer Vorläufer-B-Zelle entstehen durch klonale Expansion genetisch identische Zellen. Während der klonalen Expansion können jedoch Veränderungen wie ein Klassenswitch oder somatische Mutationen in den V-Genen auftreten und so neue Klone erzeugen.

H.-P. Seelig