

Zentral wirksame Peptid-Hormone wie ACTH und Vasopressin fördern über unterschiedliche Mechanismen Gedächtnisleistungen. Humanuntersuchungen zu diesem Thema sind jedoch sehr selten und beschränken sich in der Regel auf nichtexperimentelle Fragestellungen. (Eine Übersicht zu ZNS-wirksamen neurochemischen Stoffen und Emotionen geben Erdmann et al., 1999.)

Bildgebende Verfahren

Bildgebende Verfahren ermöglichen eine bessere Lokalisation elektrophysiologischer Hirnaktivitäten als das EEG und gewinnen deswegen zunehmend an Bedeutung. Bei bildgebenden Verfahren wird die elektrophysiologische ZNS-Aktivität mit mehreren EEG-Elektroden registriert, um so räumliche EEG-Analysen (»Brain-Mapping«) zur topografischen Verteilung der hirnelektrischen Aktivität durchführen zu können (Schandry, 1996, S. 250 ff.). Mit diesem Verfahren werden getrennt nach den einzelnen Frequenzbändern EEG-Karten erstellt, auf denen üblicherweise durch abgestufte Graurasterung oder unterschiedliche Farben die relative Verteilung der EEG-Aktivität über den gesamten Cortex grafisch dargestellt wird (Schandry, 1996, S. 252).

Seit einiger Zeit wird auch die zerebrale Stoffwechsellaktivität mit bildgebenden Verfahren veranschaulicht. Dazu wird z. B. die **Positronemissionstomografie (PET)** eingesetzt (Birbaumer & Schmidt, 1999, S. 505 f.), bei der man dem Probanden radioaktiv markierte Substanzen, z. B. radioaktive Kohlen- oder Stickstoffisotope, injiziert, die mit Hilfe der PET-Technik die lokale Stoffwechsellaktivität im Gehirn sichtbar machen.

Mit der **funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT, fMRI)** wird ausgenutzt, dass die magnetischen Eigenschaften des sauerstoffbindenden Hämoglobins im Blut sich von denen des sauerstoffarmen Blutes unterscheiden. Da neuronale Aktivität zu einer Erhöhung der lokalen zerebralen Durchblutung führt, wird vermehrt arterielles Blut in die aktiven ZNS-Regionen geleitet. Dies führt auch zu einer Erhöhung der Sauerstoffkonzentration im venösen Blut, da der lokale Sauerstoffverbrauch in der Regel niedriger ist als die zusätzliche Zufuhr. Bei Anlegen eines starken pulsierenden Magnetfeldes kann diese lokale Erhöhung der Sauerstoffkonzentration während neuronaler Aktivität mittels Hochfrequenzempfängern sichtbar gemacht werden (BOLD-Effekt: Blood Oxygenation Level Dependence). Die zeitliche und anatomische

Auflösung liegt beim fMRT deutlich höher als bei der PET, sodass auch wechselnde Aktivitäten anatomischer Strukturen während psychischer Prozesse sichtbar gemacht werden können. Genauere Informationen über diese bildgebenden Verfahren können Birbaumer und Schmidt (1999, S. 502 ff.) entnommen werden.

4.6.4 Indikatoren endokriner Systeme und des Immunsystems

Eine wichtige Rolle bei der Regulation von Emotion, Motivation und Verhalten spielen chemische Botenstoffe oder Hormone. Klassische Hormonsysteme in der biopsychologischen Stressforschung sind das Sympathikus-Nebennierenmark-System mit den Hormonen Adrenalin und Noradrenalin sowie das Hypophyse-Nebennierenrindensystem mit den Hormonen Cortisol und Aldosteron. Heute weiß man, dass neben somatischen auch psychische Faktoren wie Belastung und Erholung die Aktivität des Immunsystems beeinflussen und dass umgekehrt das Immunsystem wiederum das Verhalten (z. B. Schlafverhalten, Appetit) steuert (Hennig, 1994, S. 3 ff.). Im Laufe der vergangenen 30 Jahre hat sich eine interdisziplinäre Forschungsrichtung etabliert, die sich mit diesen Wechselwirkungen zwischen Immunsystem sowie psychischen und somatischen Prozessen beschäftigt: die Psychoneuroimmunologie (zusammenfassend Ader et al., 1991). Die folgenden Abschnitte behandeln Indikatoren der endokrinen Systeme und des Immunsystems.

Aktivität endokriner Systeme

Über die psychologischen Wirkungen von Hormonen existieren im Alltagsverständnis diverse Theorien – sei es im Zusammenhang mit Pubertierenden oder mit sog. »Frühlingsgefühlen«.

Physiologische Grundlagen

Das endokrine oder Hormonsystem ist funktionell eng mit dem vegetativen Nervensystem (► S. 280) verknüpft. Es regelt die Kommunikation zwischen zum Teil weit voneinander entfernt liegenden Organen, indem Botenstoffe (Hormone) in das umliegende Gewebe bzw. in das Blut abgegeben werden, die über spezifische Rezeptoren die Aktivität des Zielorgans beeinflussen (Birbaumer & Schmidt, 1999, S. 64 ff.).

In der interdisziplinären Stressforschung dominieren zwei Hormonachsen, die mit dem Stresserleben und -verhalten in enger Beziehung stehen: die Sympathikus-Nebennierenmark-Achse und die Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse. Das Nebennierenmark schüttet vor allem das Hormon Adrenalin, zu einem kleineren Teil auch Noradrenalin aus. Beide Hormone wirken auf die verschiedensten Organe aktivierend bzw. kontrahierend oder hemmend bzw. entspannend, z. B. aktivierend auf das Herz und eher hemmend auf das Magen-Darm-System. Zusätzlich mobilisiert insbesondere Adrenalin die gespeicherten chemischen Energiestoffe Fett und Glykogen (Silbernagl & Despoupos, 1991, S. 50 ff.).

Wichtige Hormone der Nebennierenrinde sind Sexu- aldhormone (z. B. Testosteron) und das Kortisol. **Kortisol** besitzt metabolische (stoffwechselbezogene) und immu- nologische Wirkungen. Bei einem hohen Kortisolspiegel werden in der Leber Aminosäuren zu Glukose umgewan- delt, um auch bei extremen Umweltbedingungen einen möglichst konstanten Blutzuckerspiegel zu garantieren. Gleichzeitig wirkt sich Kortisol hemmend auf die Aktivi- tät des Immunsystems aus, indem es vor allem die Pro- duktion der Immunglobuline (Antikörper) reduziert. Dadurch hat es entzündungshemmende, fiebersenkende und antiallergische Effekte (Birbaumer & Schmidt, 1999, S. 80 ff.).

Messverfahren

Die Konzentration von Hormonen wird über Blut- oder Urinproben in der Regel mit sog. **Assaymethoden** bzw. mit der Hochdruckflüssigkeitschromatografie (HPLC) gemessen. Die bedeutendste Assaymethode ist das **Radioimmunoassay (RIA)**, über die z. B. Benjamini und Leskowitz (1988, S. 99 ff.) oder Kirschbaum et al. (1989) berichten. Mit der RIA-Methode können viele Hormone sogar im Speichel gemessen werden. Dazu muss lediglich eine Watterolle (z. B. Salivette) für 30–60 Sekunden vorsichtig gekaut oder passiv im Mund behalten und anschließend zur Gewinnung der Speichelprobe zentrifugiert werden.

! **Indikativ für die Aktivität des endokrinen Systems ist die Hormonkonzentration in Blut, Urin und Speichel. Ein wichtiges Messverfahren der Hor- monkonzentration ist die RIA-Methode (RIA: Radioimmunoassay).**

Psychologische Korrelate

Ein klassischer Forschungsbereich im Zusammenhang mit Indikatoren endokriner Systeme ist die Stressfor- schung. Die erste biochemische Reaktion auf Stresssitua- tionen basiert auf der Aktivität des Sympathikus, die über das Nebennierenmark Adrenalin und in kleineren Mengen auch Noradrenalin freisetzt. Diese Erkenntnis veranlasste Cannon (1932) zu seiner Pionierarbeit über die sog. »Notfallreaktion«. Selye (1950) verschob den Fokus der Stressforschung weg von der Sympathikus- Nebennierenmark-Achse hin zur Achse Hypothalamus- Hypophyse-Nebennierenrinde, mit der die Freisetzung von Kortisol reguliert wird.

An die adrenerge Alarmreaktion schließen sich weitere Stressphasen an, die auf hormoneller Ebene durch einen steigenden Cortisolspiegel gekennzeichnet sind. Henry und Stephens (1977, S. 118 ff.) integrierten die beiden Stressachsen in einem zweidimensionalen Modell, in dem unterschiedliche Arten von Belastung bzw. des Umgangs mit Belastungen mit erhöhter Nebennierenmarkaktivität (aktiver Stress, Anstren- gung) bzw. Nebennierenrindenaktivität (passiver Stress, Resignation) verknüpft wurden. Ausführliche Diskussionen und empirische Befunde zu beiden Stressachsen finden sich bei Chrousos et al. (1988), Frankenhaeuser (1986) sowie im Kontext emotionaler Reaktionen und Störungen bei Netter und Matussek (1995).

Auch in der experimentellen Angstforschung gibt es Befunde zu den beiden Hormonachsen. Erdmann und Voigt (1995) konnten für Leistungsangst zeigen, dass die Sympathikus-Nebennierenmark-Achse offensichtlich eher die Mobilisierung von Leistungsressourcen in- diziert, während die Achse Hypothalamus-Hypophyse- Nebennierenrinde eher die emotionale Belastung wider- spiegelt.

Weitere bedeutsame Hormonsysteme für psychische Prozesse sind das Schilddrüsenhormonsystem, das Wachstumshormonsystem sowie das Keimdrüsenhor- monsystem (Testosteron bei Männern, Östrogen bei Frauen). Einen Überblick über die umfangreiche For- schung zu Testosteron gibt Hubert (1990).

Weitere Befunde zu den verschiedenen Hormon- systemen stammen aus der klinischen Psychologie. So wurde z. B. Depression mit einer Hyperaktivität der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrindenachse

in Zusammenhang gebracht (z. B. Hautzinger & de Jong-Meyer, 1994; Holsboer, 1999).

Aktivität des Immunsystems

Dass die Aktivität des Immunsystems auch wesentlich von der psychischen Verfassung beeinflusst wird, ist ein Befund der Biopsychologie, der in der Öffentlichkeit auf großes Interesse gestoßen ist.

Physiologische Grundlagen

Der Einbezug des Immunsystems in biopsychologische Fragestellungen begann mit der Entdeckung seiner Konditionierbarkeit (Ader, 1981). Damit konnte belegt werden, dass das Immunsystem keine autonome Einheit darstellt, sondern dass sich psychische Einflüsse auf die Funktionsweise des Immunsystems auswirken.

Beim Immunsystem unterscheidet man angeborene von erworbener Immunität. Die angeborene Immunität wirkt unspezifisch. Sie richtet sich gegen jegliches Fremdmaterial wie Bakterien, Viren, Parasiten oder Pilze (Antigene), das in den Organismus eindringt. Die erworbene Immunität ist spezialisierter als die angeborene. Sie bildet sich erst während der Ontogenese aus, d. h., Säuglinge und Kleinkinder sind gegenüber Infektionen weit geringer geschützt als Erwachsene. Die erworbene Immunität umfasst humorale (d. h. über blutlösliche Stoffe vermittelte) und zellvermittelte Mechanismen, bei denen die Abwehrzelle das Antigen berühren muß, bevor es aufgelöst werden kann (Benjamini & Leskowitz, 1988).

Messverfahren

Die Bestimmung der Immunaktivität erfolgt in der Regel über biochemische Blutanalysen. Eine Quantifizierung der peripheren Immunaktivität im Blut wurde mit der Entdeckung spezieller Moleküle (Antikörper) möglich, die sich an spezifische Rezeptoren der einzelnen immunaktiven Zellen binden. Diesen Rezeptoren wurden in einer internationalen Nomenklatur Nummern zugewiesen (z. B. CD2, CD3, CD4, CD8-Rezeptor). Die Antikörper, die sich an die spezifischen Rezeptoren der immunaktiven Zellen binden, werden markiert (z. B. mit fluoreszierenden Substanzen) und

zusammen mit den immunaktiven Zellen mittels der sog. Durchflusszytometrie ausgezählt (O'Leary, 1990).

! Indikativ für die Aktivität des Immunsystems sind Art und Konzentration immunaktiver Zellen im Blut, die z. B. mit der Durchflusszytometriemethode nach vorheriger Markierung durch fluoreszierende Substanzen ausgezählt werden können.

Neben dieser »Auszahl«-Methode gibt es noch weitere Messverfahren, mit denen der Aktivierungszustand der einzelnen Komponenten des Immunsystems bestimmt werden kann. Von besonderer Bedeutung ist hierbei das sekretorische Immunglobulin (sIgA) im Speichel. Einzelheiten findet man bei Hennig (1994, S. 68 ff.) bzw. – zu weiteren Methoden – bei Jacobs (1996).

Psychologische Korrelate

In den vergangenen 30 Jahren konnte wiederholt gezeigt werden, dass psychische Zustände und Persönlichkeitsvariablen in vielfältiger Weise auf das Immunsystem wirken. Befunde zur Konditionierbarkeit des Immunsystems wurden von Ader (1981) zusammengestellt, und Schedlowski und Tewes (1996) besprechen Einflüsse von Stress auf das Immunsystem. Eine ausführliche Diskussion des Zusammenhangs von sIgA mit unterschiedlichen Belastungs- und Spannungssituationen findet man bei Hennig (1994, S. 88 ff.).

Entspannung und Imaginationstechniken bewirken einen deutlichen sIgA-Anstieg, während Belastung eher zu einer sIgA-Reduktion führt. Dabei scheint längerfristige Belastung mit geringeren sIgA-Veränderungen einherzugehen als kurzfristige. Bei diesen Befunden sind jedoch auch Persönlichkeitsfaktoren zu berücksichtigen. So besteht ein negativer Zusammenhang zwischen Neurotizismus und der sIgA-Sekretionsrate.

Einen Überblick zu den Wechselwirkungen zwischen Stress, Krankheit und Immunaktivität geben Ader et al. (1991, S. 847 ff.). Es gibt heute etliche Hinweise, dass eine Reihe körperlicher Krankheiten, möglicherweise auch Krebserkrankungen, aufgrund der Verknüpfung zwischen Psyche und Immunsystem durch psychische Faktoren beeinflussbar sind.