Biopsychologische Veränderungen

Kerstin Konrad und Johanna König

1.1 Einführung – 2

1.2 Körperliche Entwicklung – 3
1.2.1 Hormonveränderungen in der Pubertät – 4
1.2.2 Sexuelle Reifung und Körperwachstum – 7
1.2.3 Stressresilienz in der Adoleszenz – 10

1.3 Hirnreifung während der Adoleszenz – 10

1.4 Zirkadiane Rhythmik – 14
1.4.1 Der zirkadiane Tag-Nacht-Rhythmus – 15
1.4.2 Veränderungen des Tag-Nacht-Rhythmus während der Adoleszenz – 17

1.5 Individuelle Unterschiede in der Pubertätsentwicklung und mögliche Konsequenzen – 19

Literatur – 20

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018
A. Lohaus (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie des Jugendalters*, Springer-Lehrbuch,
https://doi.org/10.1007/978-3-662-55792-1_1

Zusammenfassung

Das Jugendalter ist geprägt von biologischen, psychologischen und sozialen Veränderungen. Biologisch stehen sowohl das Erlangen der sexuellen Reife (Pubertätsentwicklung) als auch eine umfassende neuronale Umstrukturierung des Gehirns im Vordergrund. In der Pubertät finden starke körperliche Veränderungen statt, die mit einer vermehrten Sekretion von Hormonen verbunden sind. Die neuronalen Veränderungen gehen mit Veränderungen des Sozialverhaltens und kognitiven und affektiven Veränderungen einher, z. B. der Risikobereitschaft, dem Belohnungsstreben und der kognitiven Kontrolle. Diese biologischen Veränderungen führen zu psychischen Herausforderungen, die weit über die Phase der biologischen Entwicklung hinausreichen. Die Grundzüge der adoleszenten biopsychologischen Veränderungen werden im folgenden Kapitel erörtert.

1.1 Einführung

Das Jugendalter, auch als **Adoleszenz** bezeichnet, umschreibt den Übergang von der Kindheit ins Erwachsenenalter und ist geprägt von biologischen, psychologischen und sozialen Veränderungen und Herausforderungen. Der Begriff der Adoleszenz stammt vom lateinischen Wort „adolescere“ ab und bedeutet „aufwachsen“, „heranwachsen“ oder „gedeihen“. Die so umschriebene Alterspanne ist jedoch eher ungenau definiert und variiert zwischen dem 10. und 25. Lebensjahr.

Obwohl häufig synonym verwendet, kann der Begriff „Adoleszenz“ vom Begriff „Pubertät“ abgegrenzt werden. Der Begriff der **Pubertät** steht streng genommen für die rein biologische Entwicklung, basierend auf humoralen Veränderungen und endet mit dem Erlangen der vollständigen Geschlechtsreife. Die Adoleszenz dagegen beschreibt zusätzlich zum biologischen auch einen psychosozialen Prozess, der u. a. die Integration in die Gesellschaft, eine selbstständige Lebensweise und die Identitätsentwicklung umfasst. Die Pubertät kann somit als ein wesentlicher Bestandteil und als wichtige Voraussetzung der Adoleszenz betrachtet werden.

Abgrenzung von Pubertät und Adoleszenz

Definition

Die **Adoleszenz**, beginnend mit dem Eintritt in die Pubertät, umschreibt das Heranreifen eines Kindes zum Erwachsenen. Als Abschluss gelten u. a. eine umfassende Selbstständigkeit und eine abgeschlossene Hirnreifung. Die World Health Organization (WHO) definiert hierfür die Zeitspanne zwischen dem 11. und 20. Lebensjahr, wobei die tatsächliche Zeitspanne von sozioökonomischen, gesellschaftlichen und kulturellen Faktoren beeinflusst ist. Zur genaueren Beschreibung der Adoleszenz als eine Zeit vielschichtiger biologischer, psychologischer und sozialer Herausforderungen und

Entwicklungen hat sich in den letzten Jahren eine weitere Untergliederung in die frühe, mittlere und späte Adoleszenz durchgesetzt. Dabei umfasst die frühe Adoleszenz primär die pubertäre Entwicklung (ca. 10–13 Jahre), die mittlere Adoleszenz den Zeitraum zwischen 14 und 16/17 Jahren, wohingegen die späte Adoleszenz geprägt ist vom direkten Übergang in das junge Erwachsenenalter (17–20 Jahre).

Bereits die Betrachtung der Pubertät als Beginn der Adoleszenz verdeutlicht, dass die biologischen Veränderungen zu dieser Zeit eine wesentliche Grundlage der weiteren Entwicklung darstellen. Die biologischen Veränderungen sollten daher im Zusammenhang mit kognitiven und affektiven Veränderungen und den typischen Entwicklungsaufgaben der Adoleszenz (▶ Kap. 2) betrachtet werden. Beispielsweise könnten Neurotransmitterveränderungen im Gehirn von Jugendlichen mit risikoreichen Verhaltensweisen in Zusammenhang stehen und diese wiederum z. B. die Autonomieentwicklung und Ablösung vom Elternhaus begünstigen. Umgekehrt nehmen die veränderten sozialen Erfahrungen (z. B. vermehrte Interaktion mit Gleichaltrigen) in der Adoleszenz Einfluss auf neuronale Entwicklungsprozesse, die z. B. die Entwicklung sozialer Kompetenzen weiter beeinflussen können.

Biologische, psychologische und soziale Entwicklungen beeinflussen sich wechselseitig

Dank erheblicher Fortschritte in den Neurowissenschaften und der Molekularbiologie können heute solche biologischen Entwicklungsprozesse genauer erfasst werden. Insbesondere die Anwendung von nichtinvasiven Bildgebungsverfahren an z. T. großen populationsbasierten Entwicklungskohorten erlaubt neue Erkenntnisse über die Hirnentwicklung in der Adoleszenz. Detaillierte Kenntnisse der biopsychologischen Veränderungen während der Adoleszenz können nicht nur zu einem verbesserten Verständnis der psychologischen Veränderungen in dieser Entwicklungsphase beitragen, sondern auch helfen, pädagogische Maßnahmen oder Präventions- oder Interventionsangebote bei möglichem Problemverhalten an die spezifischen neurobiologischen Veränderungen des Jugendalters optimal anzupassen. Einige wesentliche Erkenntnisse sollen im Folgenden zusammengefasst werden.

1.2 Körperliche Entwicklung

Die körperliche Entwicklung während der Adoleszenz ist primär auf den Zeitraum der Pubertät beschränkt. Dabei ist die genaue zeitliche Abmessung der Pubertät, ebenso wie die der Adoleszenz, von Genetik und Umwelt beeinflusst. In westlichen Kulturkreisen gilt der Zeitraum zwischen dem 9. und 15. Lebensjahr für Mädchen als normgerecht, bei Jungen wird entsprechend vom 10. bis zum 16. Lebensjahr gesprochen.

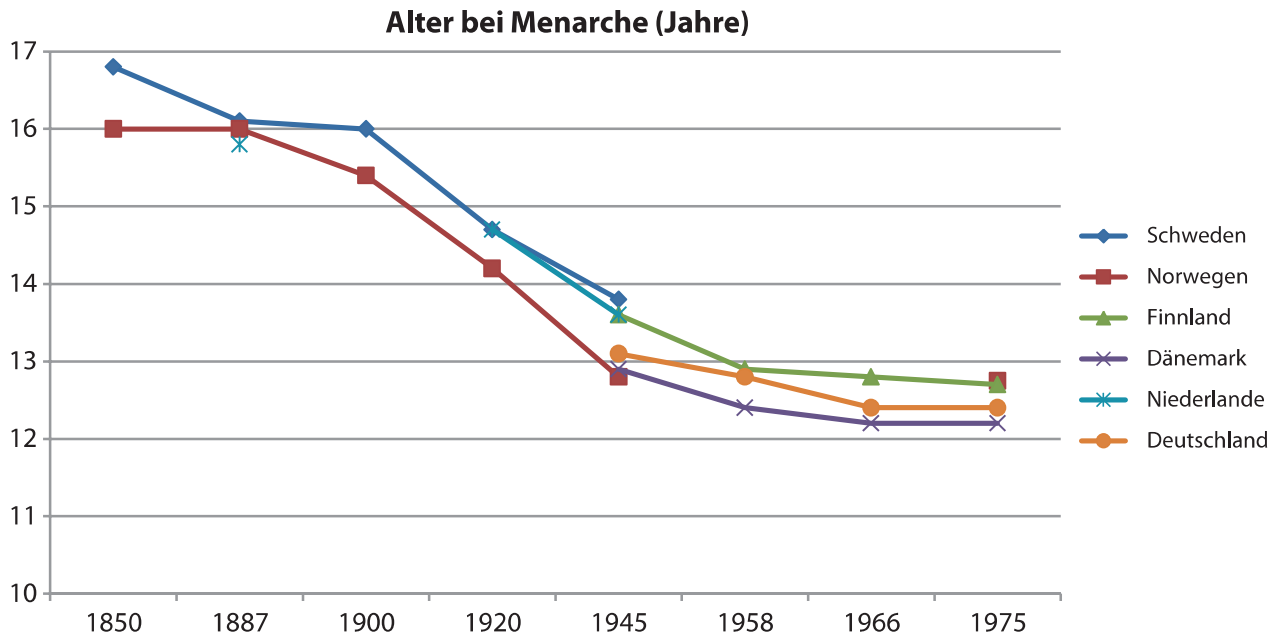

Abb. 1.1 Veränderungen des Menarchealters in den letzten 2 Jahrhunderten. (Mod. nach Gohlke und Wölfle 2009)

Das Alter zu Beginn der Pubertät ist in den letzten Jahrzehnten gesunken

Die körperlichen Entwicklungen während der Pubertät, besonders die hormonellen Veränderungen, gehen den psychosozialen Entwicklungen zeitlich meist voraus. In den westlichen Industrienationen ist der Beginn der Pubertät in den letzten 120 Jahren stetig gesunken. So hat sich z. B. bei den Mädchen der Zeitpunkt der Menarche von durchschnittlich 17 Jahren auf 13 Jahre nach vorne verschoben (Abb. 1.1). Dieses Phänomen wird auch **säkulare Akzeleration** genannt. Es wird angenommen, dass hierfür primär eine verbesserte Ernährung und medizinische Versorgung verantwortlich waren. Seit den 80er und 90er Jahren des 20. Jahrhunderts konnte jedoch keine weitere Vorverlegung des Menarchealters für die meisten europäischen Länder und auch nicht für Deutschland gezeigt werden (Abb. 1.1). Bei Jungen ist die Einschätzung eines Trends etwas schwieriger, da es nur wenig vergleichbare Studien zur Reifeentwicklung bei Jungen gibt.

1.2.1 Hormonveränderungen in der Pubertät

Aktivierung des hormonellen Systems als Startpunkt der Pubertät

Als Beginn der Pubertät kann die Aktivierung des gonadotropen, d. h. auf die Keimdrüsen einwirkenden Systems betrachtet werden, welches neben den Keimdrüsen (Gonaden) zentralnervös primär den Hypothalamus und die Hypophyse umfasst. Die hypothalamisch-hypophysär-gonadale Achse befand sich nach einer aktiven Phase während der Fetal- und Neugeborenenperiode in den nachfolgenden Jahren zunächst in einer Ruhephase. Die Aktivierung des Systems in der Pubertät beruht vermutlich auf einer verminderten Hemmung der Hormonsekretion, insbesondere aufgrund einer geringeren Empfindlichkeit des Hypothalamus gegenüber den vermehrt freigesetzten Sexual- und Wachstumshormonen.

Hormonsekretion

Regulation der Hormonsekretion durch Hypothalamus und Hypophyse

Der Begriff der Hormonsekretion beschreibt die Freisetzung von Hormonen. Ein bedeutender Teil der Hormonsekretion wird über das **Hypothalamus-Hypophysen-System** gesteuert. Dabei können zwei Teilsysteme unterschieden werden. Zum einen werden im Hypothalamus zwei Hormone produziert, die an den Hypophysenhinterlappen (Neurohypophyse) weitergeleitet und dort ausgeschüttet werden. Aufgrund der geringen Relevanz für das vorliegende Kapitel wird auf diese Mechanismen und Regulationen hier jedoch nicht näher eingegangen. Im zweiten Teilsystem werden im Hypothalamus sog. Neurohormone gebildet, die über bestimmte Nervenfortsätze (Axone) an eine spezifische Blutbahn in der Hypophyse, das Pfortadersystem im Hypophysenvorderlappen (Adenohypophyse), weitergeleitet werden (Abb. 1.2).

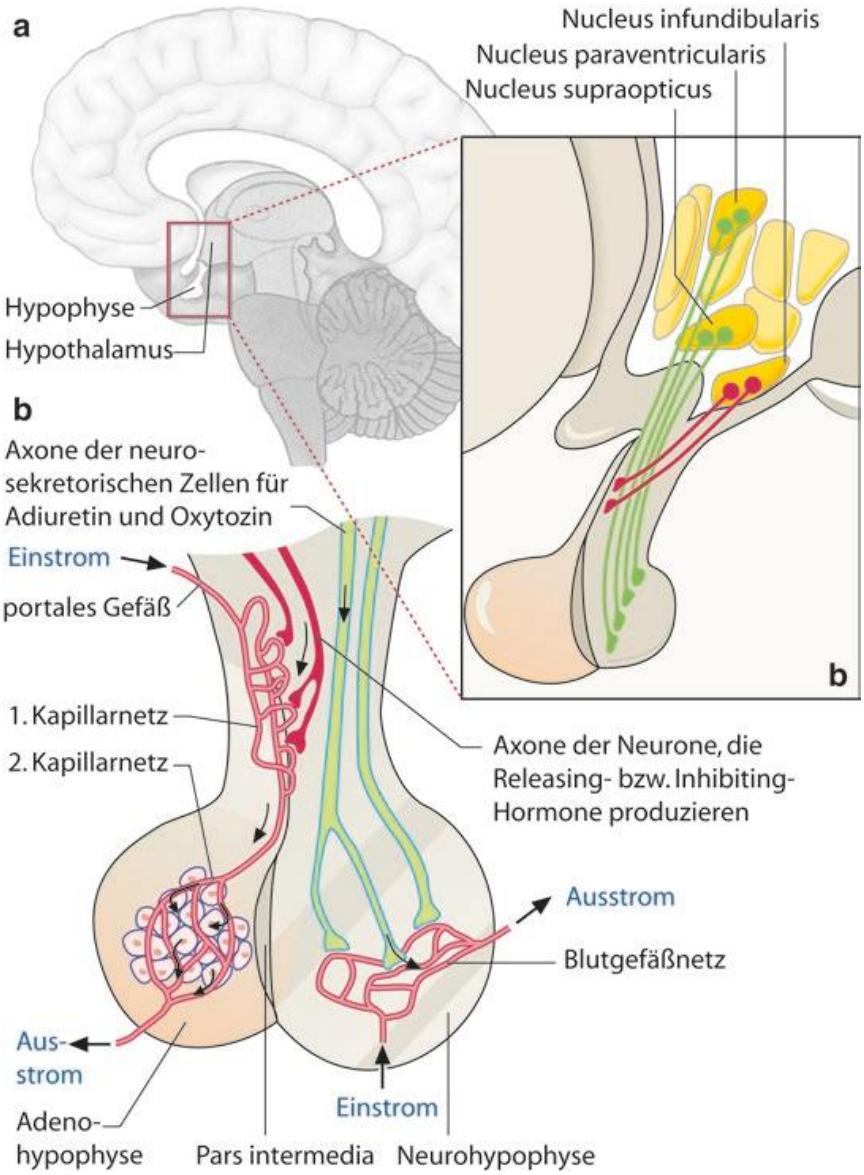

Abb. 1.2 Hormonsekretion. (Aus Birbaumer und Schmidt 2010; nach Schmidt et al. 2000)

Neurohormone modulieren die Sekretion weiterer Hormone. Dabei kann zwischen **Releasing-Hormonen**, die eine Hormonsekretion anregen, und **Inhibiting-Hormone**, die eine Hormonsekretion unterdrücken, unterschieden werden. Die daraufhin von der Adenohypophyse ausgeschütteten Hormone gelangen in den Blutkreislauf. Ein Teil der Hormone wird zu einem Zielorgan transportiert, um dort weitere Prozesse zu aktivieren (z. B. Sexualhormone). Ein zweiter Teil der Hormone regt direkt Veränderungen im gesamten Körper an (z. B. das Wachstumshormon).

Exkurs

Methoden zur Erhebung der Hormonkonzentration
Bei einigen Störungen der physischen, aber auch der psychischen Gesundheit kann eine Analyse der Konzentration definierter Hormone sinnvoll sein, um mögliche hormonelle Abweichungen medikamentös ausgleichen zu können. Ein Beispiel hierfür ist die Überprüfung der Konzentration des Hormons Melatonin bei Schlafstörungen. Auch im Rahmen von Entwicklungsstudien kommt der Messung der Sekretion von Sexualhormonen, insbesondere von Sexualsteroiden eine große Bedeutung zu. Dies ist besonders wichtig, da die Konzentration der Sexualsteroide ansteigt, bevor es zu einer äußerlich sichtbaren Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale kommt.

Bluttest
Eine Blutprobenentnahme erfolgt häufig nüchtern. Etwa 95 % der im Blut enthaltenen Hormone sind an Proteine gebunden und damit nicht frei. Nur freie Hormone können jedoch eine Wirkung an entsprechenden Rezeptoren entfalten. Bei der Analyse der Blutprobe gilt es daher die freien von den gebundenen Hormonen zu unterscheiden.
Vorteil: Der Bluttest bietet die genauste und zeitlich stabilste Messung.
Nachteil: Die Probenentnahme ist nur von Fachpersonal durchführbar.

Speicheltest
Hierbei wird die Menge freier Hormone innerhalb einer Speichelprobe erhoben. Aufgrund der hohen Anfälligkeit des Speichels für Verunreinigung sollte vor der Entnahme der Probe auf die Einnahme von hormonhaltigen Lebensmitteln (z. B. Milchprodukte) verzichtet und stets der Mund mit klarem Wasser ausgespült sein.
Vorteil: Die Methode ist schnell und einfach und kann gut selbstständig durchgeführt werden.
Nachteil: Die Ergebnisse sind durch viele Faktoren beeinflusst und liefern daher eher Annäherungswerte.

Urintest
Die verwendete Urinprobe ist häufig ein 24-Stunden-Sammelurin. Wie im Speichel werden auch im Urin nur freie Hormone gemessen, die die Blutbahn verlassen haben.
Vorteil: Die Probe ist unabhängig von tageszeitlichen Schwankungen und kurzfristigen Einflüssen.
Nachteil: Die Erhebung eines 24-Stunden-Sammelurins ist sehr zeitaufwändig.

1.2.2 Sexuelle Reifung und Körperwachstum

Ein bedeutsamer Hormonzyklus der pubertären Entwicklung ist die Sekretion der **Sexualhormone (Gonadotropine)**. Das vom Hypothalamus stoßweise ausgeschüttete Gonadotropin-Releasing-Hormon (GnRH) stimuliert im Vorderlappen der Hypophyse die Sekretion der Gonadotropine. Die Konzentration des stimulierenden GnRH ist dabei sowohl neuronal als auch hormonell reguliert, u. a. über die Konzentration der Wachstumshormone. Die von der Hypophyse ausgeschütteten Gonadotropine werden über die Blutbahn in die Gonaden weitergeleitet und führen dort primär zur Sekretion der wichtigsten Hormone Testosteron bzw. Östrogenen und der Gestagene. Die ansteigende Konzentration der Sexualhormone führt schließlich im Hypothalamus zu einer zunehmenden Inhibition der Sekretion des GnRH.

Die vermehrte Sekretion von Sexualhormonen löst beim Jugendlichen körperliche Veränderungen der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale aus, wovon letztere als äußerliche Merkmale der Pubertät erkennbar sind. Diese sichtbaren Veränderungen bilden die Grundlage der von Tanner (1962) definierten **Stadien der pubertären körperlichen Entwicklung**.

Sexualhormone und körperliche Reifung

Tanner-Stadien
Die Stadien dienen der einheitlichen Beurteilung und Beobachtung der Pubertät anhand der Entwicklung der sekundären Geschlechtsmerkmale. Die verschiedenen Abschnitte der äußeren Pubertätsentwicklung werden bei Mädchen mit den Tanner-Stadien der Brustentwicklung (Thelarchestadien T1–T5) und der Schambehaarung (Pubarchestadien PH1–PH6) beschrieben. Bei Jungen erfolgt die Beschreibung anhand der Entwicklung von Schambehaarung (Pubarchestadien PH1–PH6) und der Vergrößerung des Penis (Genitalstadien G1–G5).

Entwicklung der weiblichen Brust (Thelarche)
- T1 (vorpubertär): keine tastbare Brustdrüse
- T2: Brustdrüse ansatzweise tastbar, Warzenhof leicht vergrößert

- T3: Brustdrüse größer als Warzenhof, beginnende Brustwölbung
- T4: Wachstum der Brust, Abhebung der Brustwarze und des Warzenhofs
- T5: voll entwickelte, erwachsene Brust mit abgesenktem Warzenhof

Entwicklung der männlichen Genitalien (Gonadarche)

- G1 (vorpubertär): Hodenvolumen (HV) <3 ml, kleiner Penis
- G2: HV 3–6 ml, Hodensack leicht vergrößert mit verdünnter, rötlicher Haut
- G3: HV 6–12 ml, Hodensack stärker vergrößert, Penislänge nimmt zu
- G4: HV 12-20 ml, Hodensack dunkler, Peniswachstum in Länge und Umfang
- G5: HV >20 ml, Hodensack und Penis voll entwickelt

Entwicklung der Schambehaarung (Pubarche)

- P1 (vorpubertär): keine Behaarung
- P2: wenig, leicht pigmentierte Behaarung, kaum gekräuselt
- P3: kräftigere, dunklere Behaarung, stark gekräuselt
- P4: Dichte der Behaarung mit Erwachsenen vergleichbar, geringe Ausdehnung
- P5/P6: Ausbreitung auf Oberschenkel und Entlang der Linea alba (senkrechte Bindegewebsnaht in der Mitte des Bauches)

Zusätzlich findet man bei Mädchen in Ultraschalluntersuchungen eine Volumenzunahme der Gebärmutter (Uterus), zuerst ohne, dann mit Nachweis von Uterusschleimhaut („Schleimhautreflex“). Die Eierstöcke (Ovarien) entwickeln sog. Follikelzysten. Multizystische Ovarien mit mehr als 6 Follikeln sind schon in den frühen Pubertätsstadien darstellbar. Die erste Periodenblutung (Menarche) tritt nach den longitudinal erhobenen Daten von Largo et al. (1983a, b) im Mittel mit 13,4 Jahren ein. Ergebnisse des Kinder- und Jugendgesundheitssurveys (KiGGS) aus dem Jahre 2006 datieren mit der Status-quo-Methode das mediane Menarchealter auf 12,8 Jahre (Kahl et al. 2007). Nach anfänglich unregelmäßigen Periodenblutungen meist ohne Eisprung (anovulatorischen Zyklen) werden die Blutungen bei 80 % der Mädchen in einem Zeitraum von 5 Jahren nach der ersten Periodenblutung regelmäßig und ovulatorisch.

Geschlechtsunterschiede der körperlichen Reifung

Die pubertäre Entwicklung des Jungen beginnt mit einer Größenzunahme der Hoden, deren Volumina durch Abtasten mit

dem Orchidometer nach Prader beurteilt und mit Normalwerten verglichen werden können. Im weiteren Verlauf der Pubertät kommt es zur Entwicklung von Schambehaarung (Pubesbehaarung, Stadien PH1–PH6 nach Tanner), zur Vergrößerung des Penis (Genitalstadien G1–G5 nach Tanner), zum Bartwuchs und zum Stimmbruch. Bei Jungen lassen sich erste Spermien im morgendlichen Spontanurin im Mittel mit 13,4 Jahren nachweisen (Spermarche). Mit der Zunahme der Hodenvolumina in den nachfolgenden Jahren kommt es zur vollen Ausreifung der Spermatogenese (Brämswig und Dommers 2009).

Körperlängenwachstum

Wachstumsschub bei verzögerter Organentwicklung

Durch das Releasing-Hormon GHRH („growth hormone releasing hormone") wird des Weiteren eine vermehrte Sekretion des Wachstumshormons Somatropin (GH, „growth hormone") angeregt. Der so ausgelöste Wachstumsschub sorgt anfänglich führ eine primäre Verlängerung der Extremitäten. Die Folgen sind ein enormes Längenwachstum (bis zu 10 cm pro Jahr) und eine zeitweise Verschiebung der Körperproportionen. Asynchronien im Wachstum der Körperteile können zu dem adoleszententypischen „schlaksigen Aussehen" oder auch zu vorübergehenden Störungen der Motorik führen. Gleichzeitig ist die Entwicklung der inneren Organe dem körperlichen Wachstum zeitlich nachgestellt. Diese Entwicklungsverzögerung kann zunächst zu einer schnelleren Ermüdbarkeit und Herz-Kreislauf-Beschwerden führen. Im weiteren Entwicklungsverlauf werden dann auch die inneren Organe an die veränderte Körpergröße und das gestiegene Körpergewicht angepasst. Dadurch kommt es u. a. zu einer stärkeren Belastbarkeit des Herz-Kreislauf-Systems und der Atmung, grundlegend für die ansteigende motorische Dynamik, insbesondere im Bereich der Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer im späteren Jugendalter (Schnabel und Meinel 2004).

Geschlechtsunterschiede in der Entwicklung von Körpermuskel- und Fettmasse

Der Wachstumsschub setzt bei Mädchen mit ca. 12–13 Jahren, bei Jungen zwischen dem 14. und 15. Lebensjahr ein. Die endgültige Körpergröße wird bei beiden Geschlechtern dann in der Regel zwischen dem 16. und 19. Lebensjahr erreicht. Aufgrund der hormonellen Veränderungen werden Geschlechtsunterschiede zunehmend deutlicher. Während der Pubertät verschieben sich die Fett-Muskel-Proportionen des Körpers. Das vermehrte Testosteron im männlichen Körper sorgt für einen Anstieg der androgenen Rezeptoren in den Muskelzellen und dadurch zu einer stärkeren Aktivierung der Muskeln (Singh et al. 2006; Sinha-Hikim et al. 2004). Gleichzeitig verringert Testosteron freie Fettmassen. Dies führt zu einer stärkeren Entwicklung von Muskelmasse bei Jungen. Bei Mädchen hingegen kommt es unter dem Einfluss von Östrogenen zu einer Zunahme des Fettgewebes.

1.2.3 Stressresilienz in der Adoleszenz

Die physiologische Stressreaktion

Die biologischen, psychologischen und sozialen Veränderungen während der Adoleszenz können dabei immer wieder Stress auslösen. Externe ebenso wie interne Stressoren aktivieren eine physiologische Stressreaktion, deren neuronale Modulation primär über das Nervensystem des Sympathikus erfolgt. Die unter Stress erhöhte sympathische Aktivität regt eine vermehrte Sekretion von Adrenalin und Noradrenalin im Mark der Nebenniere an. Dazu erfolgt über die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HPA-Achse, „hypothalamic-pituitary-adrenal-axis") eine hormonelle Regulation der Stressrektion. Eine Ausschüttung des Kortikotropin-Releasing-Hormons (CRH) im Hypothalamus stimuliert die Sekretion des Adrenokortikotropen Hormons (ACTH) in der Hypophyse. Dieses wiederum stimuliert in der Nebennierenrinde schließlich die Abgabe von Glukokortikoiden, insbesondere von Kortisol, was u. a. der Energiebereitstellung dient.

Veränderung der physiologischen Stressreaktion in der Pubertät

Die Sensitivität der HPA-Achse wird während der Adoleszenz stark beeinflusst. So führt die erhöhte Abgabe von Androgenen bei Jungen zu einer verringerten CRH-Abgabe, sodass eine Inhibition der HPA-Achse erfolgt. Östrogene dagegen erhöhen die CRH-Abgabe, sodass die Stressreaktion der HPA-Achse bei Mädchen stimuliert wird. Auch regelmäßig wiederkehrender emotionaler Stress kann die Sensitivität der HPA-Achse auf Stressoren erhöhen. Gleichzeitig können langanhaltende, chronische Stressreaktionen einen Einfluss auf die weitere hormonelle Entwicklung haben. So löst eine chronische Hypersekretion von Kortisol beispielweise eine Hyposekretion von Wachstums- und Sexualhormonen aus, wodurch die pubertäre Entwicklung verzögert werden kann.

1.3 Hirnreifung während der Adoleszenz

Da sich die neurobiologische Entwicklung der Adoleszenz, anders als die körperliche Entwicklung, nicht primär auf die Pubertät beschränkt, sondern zu jeder Zeit adoleszenter Entwicklung wesentlich und bedeutsam ist, scheint eine Anwendung der beschriebenen drei Adoleszenzphasen hier sinnvoll. Auf diese Weise können neurobiologische Entwicklungen und deren Bedeutungen innerhalb einer Entwicklungsphase besser abgrenzt und mit den Entwicklungen anderer Phasen in Verbindung gesetzt werden.

Mit bildgebenden Verfahren die Phasen neuronaler Entwicklung nachvollziehen

Ein Großteil des heutigen Wissens bezüglich der neuronalen Entwicklungen während der Adoleszenz beruht auf der Weiterentwicklung bildgebender Verfahren in den letzten Jahrzehnten. Mit diesen Verfahren kann nicht nur der aktuelle Entwicklungszustand erfasst, sondern mit wiederholten Messungen auch der