

Prostata: Anatomie und Physiologie

Marco Randazzo & Rainer Grobholz

**Journal für Urologie und
Urogynäkologie/Österreich**
Zeitschrift für Urologie und
Urogynäkologie in Klinik und Praxis

ISSN 1023-6090

J. Urol. Urogynäkol. AT
DOI 10.1007/s41972-020-00120-8



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer-Verlag GmbH Austria, ein Teil von Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

J. Urol. Urogynäkol. AT
<https://doi.org/10.1007/s41972-020-00120-8>

© Springer-Verlag GmbH Austria, ein Teil von
 Springer Nature 2020



Marco Randazzo^{1,2} · Rainer Grobholz³

¹ Urologische Abteilung, GZO Spital Wetzikon, Wetzikon, Schweiz

² Klinik für Urologie, Kantonsspital Winterthur, Winterthur, Schweiz

³ Institut für Pathologie, Kantonsspital Aarau, Aarau, Schweiz

Prostata: Anatomie und Physiologie

Hintergrund

Anatomie der Prostata

Die Prostata ist eine ca. 20 g schwere *exokrine Drüse*. Sie liegt ausserhalb der Bauchhöhle versteckt im kleinen Becken. Damit kommt die Prostata bei einer Laparoskopie nicht zur Darstellung, da sie wie bei den meisten Säugetieren subvesikal und zum anderen subperitoneal zu liegen kommt. Bei der Restharnmessung muss die Ultraschallsonde deswegen besonders schräg zur Symphyse gehalten werden, um die Prostata einzusehen. Ausserdem gelingt dies entsprechend nur bei gefüllter Harnblase.

Die Prostata ist eine der sog. akzessorischen Geschlechtsdrüsen, zusammen mit den Bulbourethraldrüsen, den Samenleiterampullen und den Samenblasen, und macht geschätzt 40 % des Ejakulatvolumens aus. Die Drüsen der Prostata entleeren sich in Öffnungen der Harnröhre, welche, flankiert von den quergestreiften Fasern des Sphinktermuskels, durch die Prostata hindurchzieht. Der Blasenhalshingegen beherbergt glatte Muskulatur an jenem Ort, an dem die Alphablocker wie z. B. Tamsulosin wirken. Anatomisch wird die Prostata nach kranial vom Blasenhalshals begrenzt, nach dorsal von der Denonvilliers-Faszie und dem Rektum. Ventral liegen die Symphyse sowie die puboprostatistischen Ligamente mit dem Venengeflecht des Plexus Santorini, la-

teral die unterhalb der endopelvinen Faszie gelegene Beckenbodenmuskulatur. Der Raum ventral der Harnblase ist mit Fett ausgefüllt und wird im Falle der Mobilisation der Harnblase eröffnet (so auch bei der Prostataektomie). Chirurgisch ist dieser Raum auch als Retzius-Raum bekannt. Damit ist die Prostata fest eingebettet in den Beckenboden, umschliesst die Harnröhre und ist ein wichtiger Teil des Kontinenzapparates.

Neurovaskuläre Anatomie

Die Nervenbündel der Prostata stammen aus dem Plexus hypogastricus inferior und tragen sowohl sympathische (TH11-L2) als auch parasympathische (S2–S4) Fasern. Am Übergang zum Blasenhalshals befindet sich eine hohe Konzentration an Alpha-1-Rezeptoren des Subtyps A. Hier wirken die Alphablocker wie Tamsulosin. Die Blutversorgung der Prostata erfolgt aus Ästen der A. iliaca interna (A. vesicalis inferior sowie aus der A. rectalis media).

Anatomie des Apex

Von besonderer chirurgischer Relevanz ist die Form des Prostataapex. Apikal geht die Prostata in den Beckenboden über (**Abb. 1**) und schliesst an den Sphinkterapparat an. Eine eindeutige Kapsel ist in diesen Bereichen nicht vorhanden. Damit ist die Form des Apex von besonderer operativer Relevanz. Grob gesagt gibt es den Apex mit bzw. ohne Einkerbung („notch“). Direkt an den Apex fliessen quergestreifte Muskelfasern des Sphinktermuskels, welche die Urethra zirkulär bis zum Blasenhalshals kontinuierlich umgeben [1].

Zonale und mikroskopische Anatomie

Anatomisch kann die Prostata ganz grob in 2 Zonen eingeteilt werden: die Innen- sowie die Aussenzone (vgl. **Abb. 2a** schematisch, **Abb. 2b** makroskopisch). Klinisch erfolgt die Einteilung nach McNeal in die Kapsel, die anteriore Zone, die Transitionalzone, die periure-

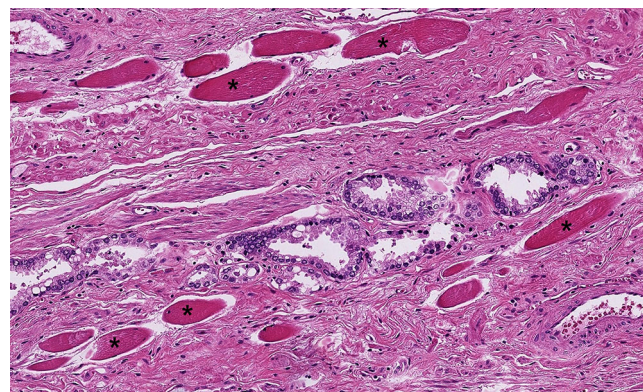


Abb. 1 ◀ Quergestreifte Skelettmuskelfasern (Asterisk) des Beckenbodens ziehen im Apexbereich in die Prostata hinein

Dieser Beitrag wurde in *Urol. Prax.* 2019 · 21:92–97, <https://doi.org/10.1007/s41973-019-0064-9> erstveröffentlicht. Zweitpublikation mit freundlicher Genehmigung des Autors.

Originalien

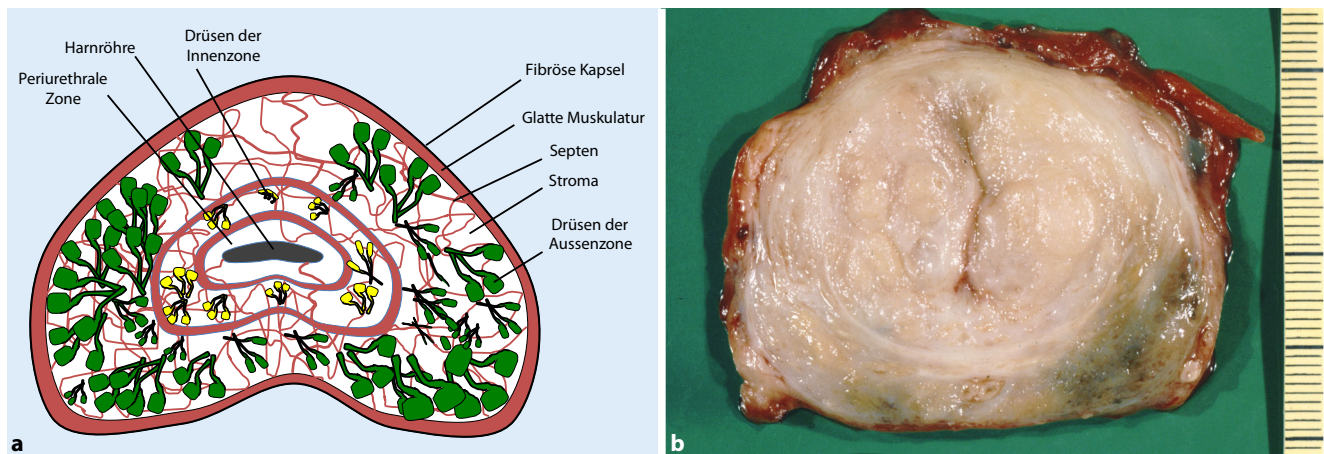


Abb. 2 ▲ a Schematischer Schnitt einer Prostata, b Querschnitt durch die Prostata: Die Urethra wird von der runden sog. Innendrüse umgeben, um die wiederum die sichelförmige umgebende sog. Aussendrüse gelegen ist

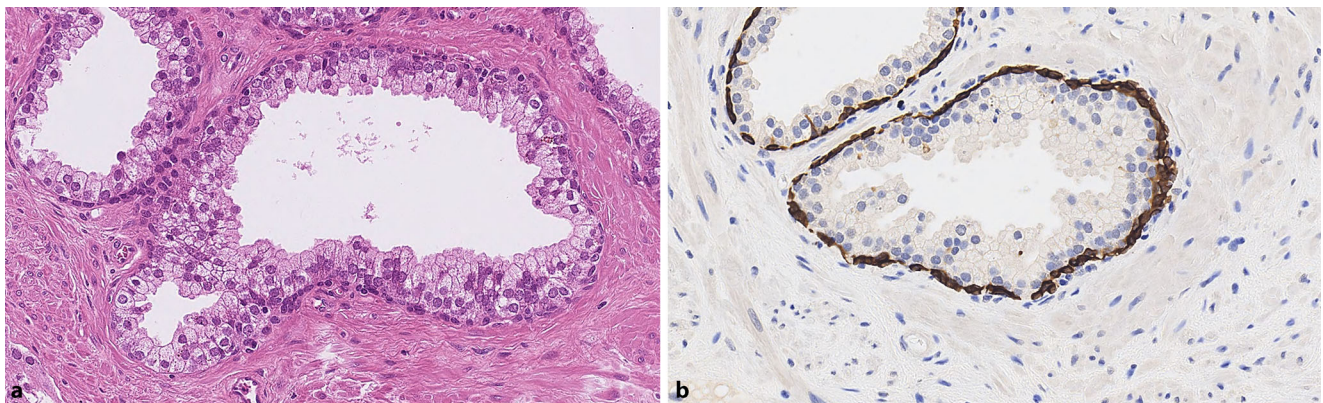


Abb. 3 ▲ a Histologisches Bild einer Prostata-drüse: luminal zylindrische sekretorische von flachen Basalzellen unterlagerte Zellen, b Immunhistochemische Darstellung der Basalzellen (braun)

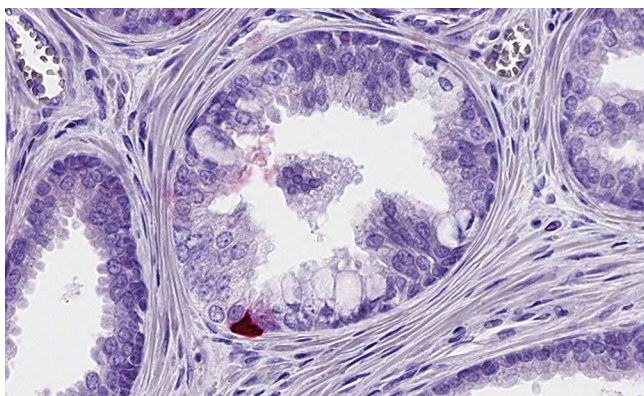


Abb. 4 ◀ Neuroendokrine Zelle in einer Prostata-drüse (rot, produziert kein Prostata-spezifisches Antigen)

3. die neuroendokrinen Zellen (Abb. 4), welche keinen Androgenrezeptor und auch kein PSA bilden.

Zu nennen sind dann noch

4. die Basalzellen sowie
5. die Stammzellen.

Die Basalzellschicht ist insbesondere pathoanatomisch von Bedeutung, da Prostatakarzinome als Zeichen ihrer Invasivität die Basalzellschicht verloren haben (sog. „Basalzellverlust“, Abb. 5). Die oben erwähnten Zelltypen sind in einem Zytoskelett mit einer nukleären Matrix aus Kollagenen eingebettet. Einige der Hauptbestandteile sind Laminin, Proteoglykane, Fibronektine und Kollagen Typ IV und V.

thrale Zone, die zentrale Zone bzw. die periphere Zone.

Mikroskopisch ist die Prostata von einer kollagenen Kapsel umgeben. Von dieser Kapsel ziehen Septen in die Prostata, welche durch Stromazellen ausgefüllt werden. In diese eingebettet sind die Drüsen der Prostata (Abb. 3). Auf zellulärer

Ebene sind 6 relevante Zelltypen zu nennen: Die metabolisch am wichtigsten

1. luminalen Epithelzellen und
2. die Stromazellen.

Beide Zelltypen machen das Gros der Prostata rein numerisch aus. Ferner existieren

Zusammenfassung · Abstract

J. Urol. Urogynäkol. AT <https://doi.org/10.1007/s41972-020-00120-8>
© Springer-Verlag GmbH Austria, ein Teil von Springer Nature 2020

M. Randazzo · R. Grobholz

Prostata: Anatomie und Physiologie

Zusammenfassung

Die Prostata ist eine besondere Drüse. Sie ist tief versteckt im kleinen Becken, umgeben von Fett, Bindegewebe, Beckenbodenmuskeln, Blutgefässen und Nerven. Sie wächst mit dem Alter, kann verschiedene Formen annehmen, die Harnblasenentleerung erheblich beeinträchtigen, chronisch oder akut entzündet sein oder zu unterschiedlich aggressiven Krebsformen entarten. Die Hauptaufgabe scheint die Mitbereitstellung und Verflüssigung des Ejakulats zu sein. Ihre Epithelzellen sind derart reich mit Ziträt gefüllt, dass einige Autoren sie als „Zitratorgan“ bezeichnen. Aus funktioneller (urodynamischer) Sicht ist v. a. der Prostatamittellappen von klinischer Relevanz, aus chirurgischer Sicht v. a. die

Form des Prostataapex. Mikroskopisch ist sie aus einem fibromuskulären Stroma und Drüsenzellen aufgebaut. Die Drüsenzellen produzieren ein Sekret, welches reich an PSA, dem prostataspezifischen Antigen, ist. Es dient v. a. zum Verflüssigen der Samenflüssigkeit und findet sich somit in hohen Konzentrationen im Ejakulat wieder. Damit war das PSA einst ein wichtiger forensischer Marker bei Sexualdelikten. Das PSMA (prostataspezifisches Membranantigen) machte sich indes in der Diagnostik nach Prostatektomie einen Namen. Es ist ein Membranantigen und wurde erstmals 1993 sequenziert. Durch radioaktiv markierte Substanzen, die an das PSMA binden, können so Metastasen

sichtbar gemacht werden. Insbesondere nach einer Prostatektomie kommt diese Diagnostik zum Einsatz. Zusammengefasst ist die Prostata anatomisch relativ „versteckt“ lokalisiert. Sie ist das Organ mit der höchsten Ziträt- bzw. Zinkkonzentration in unserem Körper. Je nach Form und Grösse kann sie die Urodynamik stark kompromittieren. Sie ist nicht nur bekannt als jener erste Ort, an dem die Prostaglandine einst entdeckt wurden.

Schlüsselwörter

Prostata · Anatomie · Physiologie · Beckenboden · Erektion

Prostate: anatomy and physiology

Abstract

The prostate is a special gland. It is located deep inside the lesser pelvis surrounded by fat, connective tissue, pelvic floor muscles, blood vessels and nerves. It grows with age, can take on a variety of forms, significantly impair the bladder's ability to empty completely, exhibit chronic or acute inflammation or degenerate into tumours of varying degrees of aggressiveness. The gland's main function appears to be helping to produce and liquefy the ejaculate. Its epithelial cells have such high levels of citrate that some authors have called it the "citrate organ". In functional (urodynamic) terms, the prostate median lobe is of clinical relevance, in surgical terms, the

shape of the prostate apex is of particular importance. Microscopically, it consists of a fibromuscular stroma and adenocytes. The adenocytes produce a secretion that is rich in PSA, the prostate-specific antigen. As this liquefies semen, it is found in high concentrations in the ejaculate and was therefore once a key forensic marker in the investigation of sexual crimes. Meanwhile PSMA (prostate-specific membrane antigen) has been widely used for diagnostic purposes following prostatectomy. It is a membrane antigen and was first sequenced in 1993. A radioactive tracer substance is injected into the bloodstream and binds to the PSMA

so that metastases show up on a scan. This diagnostic method is used in particular following a prostatectomy. In summary, the prostate is relatively well "concealed" anatomically. It is the organ with the highest concentration of citrate or zinc in our body. Depending on its form and size, it can significantly compromise urodynamics. It is not only known as the first place where prostaglandin was once discovered.

Keywords

Prostate · Anatomy · Physiology · Pelvic floor · Erektion

Prostata: reich an Zink und Ziträt

Während in anderen Säugetierzellen die Zinkkonzentration bis maximal 500 µM beträgt [2], liegt diese in der Prostata bei bis zu 3-fach höher. Im Vergleich zum Blutplasma liegt die Konzentration in Prostatazellen gar 250-fach höher [3]. Damit ist die Prostata das Organ mit der höchsten Zinkkonzentration (genauer gesagt: die Epithelzellen der Prostata). Die biologische Rolle scheint u. a. antibakterieller Natur zu sein. Bemerkenswerterweise ist bei Karzinomzellen die Zinkkonzentration erniedrigt [4]. Zink hemmt die mitochondriale Aco-

nitase, was zu einer deutlich erhöhten Zitratkonzentration führt. Damit liegt in der peripheren Drüsenzzone der Prostata (vgl. **Abb. 1**) die Zitratkonzentration 100-fach höher als jene im Serum [3]. Kein anderes Epithel ist in der Lage, eine so hohe Zitratkonzentration zu akkumulieren. Der Grossteil des Zitrats wird sezerniert und liegt damit im Ejakulat vor.

Im Gegensatz zu den anderen Zellen im Säugetier ist die Oxidation von Ziträt in den Epithelzellen der Prostata minimal. Dies scheint daran zu liegen, dass die Zitratkonzentration eines der Schlüsselenzyme der Glykolyse hemmt (näm-

lich eine der Phosphofruktokinasen). Damit wird rund 60 % der metabolisierten Glukose für die Ziträtbildung geopfert, was zu einer reduzierten ATP-Bildung führt (14 mol pro Mol Glukose im Gegensatz zu 38 mol ATP pro Mol Glukose in Karzinomzellen). Demgegenüber ist die Konzentration an Ziträt in Prostatakarzinomzellen erniedrigt. Die Ziträt-oxidation funktioniert in Karzinomzellen ausserordentlich gut, weswegen die tiefe Zitratkonzentration in der Prostata auch als Marker für Karzinomzellen untersucht wurde. Neben Zink und Ziträt ist das Prostatagewebe noch reich an Prostaglandinen, Lipiden und Fruktose.

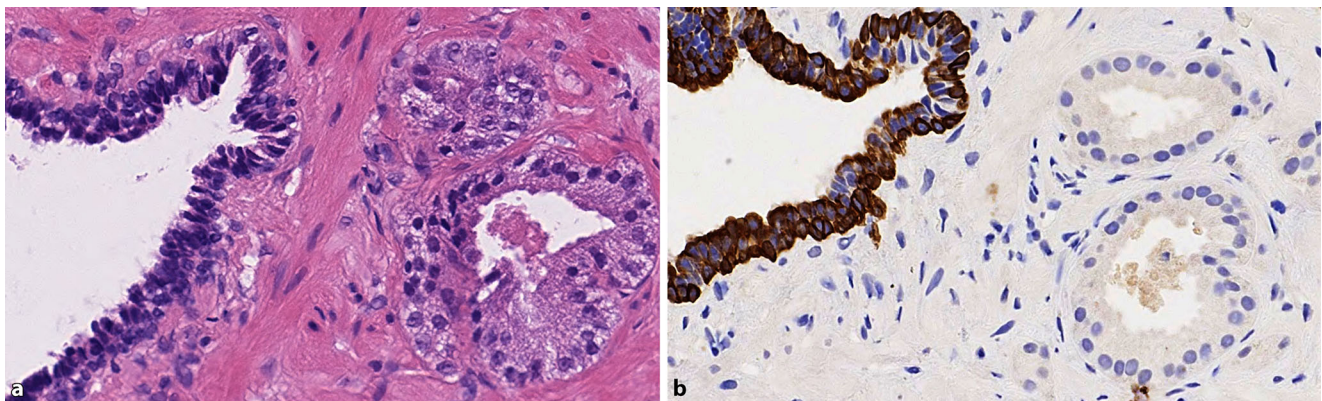


Abb. 5 ▲ a Kleine Drüsen eines Prostatakarzinoms mit einschichtigem Epithel (rechte Bildhälfte), direkt daneben vorbeistehende Prostatazdrüse mit mehrschichtigem Epithel (linke Bildhälfte), b immunhistochemische Darstellung der Basalzellen (braune Färbung); in der vorbeistehenden Drüse Basalzellen nachweisbar, nicht jedoch in den daneben gelegenen Karzinomdrüsen

Prostaglandine wurden einst im Ejakulat entdeckt und der Prostata zugeschrieben.

Prostata-spezifisches Antigen und prostata-spezifisches Membranantigen

Die Epithelzellen der Prostata produzieren das Protein PSA (prostata-spezifisches Antigen). Aus diesem Grund ist das PSA in hoher Konzentration im Ejakulat vorhanden, wo es zur Verflüssigung des Ejakulates dient. Ursprünglich 1979 entdeckt [5], war es damit ein forensischer Marker für den Nachweis von Ejakulat am Tatort in Sexualdelikten, da es „prostata-spezifisch“ ist [6]. Allerdings wurden bald auch geringe Mengen in anderen Organen entdeckt, wie in der Schilddrüse [7] oder der weiblichen Brust [8]. Und auch andere Gewebe wie die Trachea, der Hoden oder die Paneth-Zellen im Ileum bilden (wenn auch sehr wenig) PSA [9].

Insbesondere die Transitionalzone der Prostata erhöht den PSA-Wert, was zu einer „Verwässerung“ führt. Dies stellt ein Problem dar, da nicht zwischen dem produzierten PSA des Prostataadenoms und dem PSA des (ggf. vorliegenden) Karzinoms unterschieden werden kann. Es gibt Modelle, die das Volumen der Transitionalzone auf den PSA-Wert einschätzen können [10].

Das PSMA (prostata-spezifisches Membranantigen) machte sich indes in der Diagnostik nach Prostatektomie einen Namen. Es ist ein Membrananti-

gen und wurde erstmals 1993 sequenziert [11]. Durch radioaktiv markierte Substanzen, die an das PSMA binden, können so Metastasen sichtbar gemacht werden. Insbesondere nach einer Prostatektomie kommt diese Diagnostik zum Einsatz, allerdings ist auch das PSMA nicht prostata-spezifisch.

Endokrine Funktion

Testosteron wird vornehmlich im Hoden von den Leydig-Zellen produziert. In der Prostata erfolgt dann die Reduktion durch die 5-Alpha-Reduktase; sie konvertiert Testosteron zu Dihydrotestosteron (DHT). Zwar binden beide den gleichen Androgenrezeptor im Zellkern, jedoch hat DHT eine wesentlich höhere Rezeptoraffinität, was zu einer deutlich höheren biologischen Wirksamkeit führt und damit insbesondere für das Prostatawachstum klinisch relevant ist. Auch wenn im Serum der Testosteronspiegel deutlich höher ist als jener von DHT, so ist nach der intraprostatatischen Konversion DHT das Hauptandrogen im Prostatagewebe. DHT ist damit *das* Androgen-derivat, welches neben der Zelldifferenzierung auch das Wachstum der Prostata mitbeeinflusst. Daneben führt DHT zum Wachstum von Penis und Hoden sowie zum Haarwuchs (vgl. Haarwuchsmittel).

Die Halbwertszeit des Testosterons liegt bei rund 20 min. Damit wird im Falle einer Orchiektomie innerhalb weniger Stunden eine Kastration ausgelöst (z. B. bei drohender Querschnittssymptoma-

tik durch eine Wirbelkörpermetastase infolge eines Prostatakarzinoms).

Zusammengefasst ist die Prostata ein sowohl anatomisch als auch physiologisch bemerkenswertes Organ. Reich an Zitrat und Zink, versteckt im kleinen Becken, umgeben von Nervenfasern und tastbar durch das Rektum – wenn auch nur ihre Rückfläche. Intraprostatatisch wird Testosteron zu DHT konvertiert, ein Androgen-derivat, was um ein Vielfaches potenter ist als Testosteron. Durch die Blockade dieser Konversion kann das Prostatawachstum reduziert werden (5-Alpha-Reduktase-Hemmer).

Korrespondenzadresse

PD Dr. med. Marco Randazzo
Urologische Abteilung, GZO Spital Wetzikon
Spitalstrasse 66, 8620 Wetzikon, Schweiz
randazzo@hin.ch

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Randazzo und R. Grobholz geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Myers RP, Goellner JR, Cahill DR (1987) Prostate shape, external striated urethral sphincter and radical prostatectomy: the apical dissection. J Urol 138:543–550

2. Costello LC, Fenselau CC, Franklin RB (2011) Evidence for operation of the direct zinc ligand exchange mechanism for trafficking, transport, and reactivity of zinc in mammalian cells. *J Inorg Biochem* 105:589–599
3. Costello LC, Franklin RB (2016) A comprehensive review of the role of zinc in normal prostate function and metabolism; and its implications in prostate cancer. *Arch Biochem Biophys* 611:100–112
4. Costello LC, Franklin RB (2012) Cytotoxic/tumor suppressor role of zinc for the treatment of cancer: an enigma and an opportunity. *Expert Rev Anticancer Ther* 12:121–128
5. Wang MC, Valenzuela LA, Murphy GP, Chu TM (1979) Purification of a human prostate specific antigen. *Invest Urol* 17:159–163
6. Graves HC, Sensabaugh GF, Blake ET (1985) Postcoital detection of a male-specific semen protein. Application to the investigation of rape. *N Engl J Med* 312:338–343
7. Magklara A, Cheung CC, Asa SL, Diamandis EP (2000) Expression of prostate-specific antigen and human glandular kallikrein 2 in the thyroid gland. *Clin Chim Acta* 300:171–180
8. Black MH, Magklara A, Obiezu C, Levesque MA, Sutherland DJ, Tindall DJ, Young CY, Sauter ER, Diamandis EP (2000) Expression of a prostate-associated protein, human glandular kallikrein (hK2), in breast tumours and in normal breast secretions. *Br J Cancer* 82:361–367
9. Olsson AY, Bjartell A, Lilja H, Lundwall A (2005) Expression of prostate-specific antigen (PSA) and human glandular kallikrein 2 (hK2) in ileum and other extraprostatic tissues. *Int J Cancer* 113:290–297
10. Zlotta AR, Djavan B, Marberger M, Schulman CC (1997) Prostate specific antigen density of the transition zone: a new effective parameter for prostate cancer prediction. *J Urol* 157:1315–1321
11. Israeli RS, Powell CT, Fair WR, Heston WD (1993) Molecular cloning of a complementary DNA encoding a prostate-specific membrane antigen. *Cancer Res* 53:227–230

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.