

Aus der Klinik für Urologie und Urochirurgie  
der Medizinischen Fakultät Mannheim  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Maurice Stephan Michel

Vergleich der intraoperativen und computertomographischen Beurteilung  
der Steinfreiheit nach perkutaner Steinentfernung (PCNL)

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des medizinischen Doktorgrades  
der  
Medizinischen Fakultät Mannheim  
der Ruprecht-Karls-Universität  
zu  
Heidelberg

vorgelegt von  
Kim Julia Müller

aus  
Bad Saulgau  
2023

Dekan: Prof. Dr. med. Sergij Goerd  
Referentin: Frau Priv.-Doz. Dr. med. Marie-Claire Rassweiler-Seyfried

# INHALTSVERZEICHNIS

Seite

|  |           |
|--|-----------|
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....  | 1         |
| <b>1 EINLEITUNG .....</b>  | <b>2</b>  |
| 1.1 Epidemiologie und Ätiologie der Urolithiasis.....  | 2         |
| 1.2 Therapiemöglichkeiten.....   | 2         |
| 1.2.1 Interventionelle Steintherapie des Harntraktes – Indikationen.....                                       | 2         |
| 1.2.2 Therapieempfehlungen .....   | 4         |
| 1.3 PCNL .....   | 5         |
| 1.3.1 Geschichtlicher Hintergrund.....   | 5         |
| 1.3.2 Indikationen.....  | 6         |
| 1.3.3 Kontraindikationen .....   | 6         |
| 1.3.4 Varianten der PCNL-Schaftgrößen .....  | 7         |
| 1.3.5 Präoperative Bildgebung.....   | 7         |
| 1.3.6 Ablauf der PCNL .....  | 10        |
| 1.3.7 Postoperative Bildgebung und Nachsorge.....  | 13        |
| 1.4 Fragestellung .....  | 15        |
| <b>2 MATERIAL UND METHODEN .....</b>   | <b>16</b> |
| 2.1 Informationen zur Datenbank .....  | 16        |
| 2.1.1 Präoperative Daten .....   | 16        |
| 2.1.2 Intraoperative Daten .....   | 18        |
| 2.1.3 Postoperative Daten .....  | 19        |
| 2.2 Fallauswahl zur statistischen Analyse .....  | 20        |
| 2.3 Statistische Analyse.....  | 21        |
| 2.3.1 Vergleich intraoperative und computertomographische Beurteilung der Steinfreiheit.....                   | 21        |
| 2.3.2 Einflussfaktoren einer diskordanten Beurteilung der Steinfreiheit ....                                   | 22        |
| 2.3.3 Vergleich computertomographischer Signifikanz der Restfragmente mit Resultaten der Zusatzeingriffe ..... | 23        |
| 2.3.4 Einstufige Steinfreiheitsrate und Steinfreiheitsrate bei Entlassung...                                   | 23        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.3.5    | Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente .....   | 24        |
| 2.3.6    | Statistische Tests .....   | 25        |
| <b>3</b> | <b>ERGEBNISSE .....</b>  | <b>27</b> |
| 3.1      | Deskriptive Analyse .....  | 27        |
| 3.1.1    | Präoperative Daten .....   | 27        |
| 3.1.2    | Intraoperative Daten .....   | 29        |
| 3.1.3    | Postoperative Daten .....  | 32        |
| 3.2      | Spezifische Analyse.....   | 36        |
| 3.2.1    | Vergleich intraoperative und computertomographische Beurteilung der Steinfreiheit.....                   | 36        |
| 3.2.2    | Einflussfaktoren einer diskordanten Beurteilung der Steinfreiheit ....                                   | 37        |
| 3.2.3    | Vergleich computertomographischer Signifikanz der Restfragmente mit Resultaten der Zusatzeingriffe ..... | 38        |
| 3.2.4    | Einstufige Steinfreiheitsrate und Steinfreiheitsrate bei Entlassung...                                   | 40        |
| 3.2.5    | Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente .....   | 40        |
| <b>4</b> | <b>DISKUSSION .....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1      | Vergleich intraoperative und computertomographische Beurteilung der Steinfreiheit.....                   | 42        |
| 4.2      | Einflussfaktoren einer diskordanten Beurteilung der Steinfreiheit .....                                  | 45        |
| 4.3      | Vergleich computertomographischer Signifikanz der Restfragmente mit Resultaten der Zusatzeingriffe ..... | 46        |
| 4.4      | Steinfreiheitsraten und Komplikationen .....   | 48        |
| 4.5      | Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente .....   | 50        |
| 4.6      | Das Uro Dyna-CT als alternatives Verfahren für die Zukunft .....   | 51        |
| 4.7      | Limitationen .....   | 52        |
| <b>5</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>  | <b>55</b> |
| <b>6</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>7</b> | <b>TABELLARISCHER ANHANG .....</b>   | <b>64</b> |

8 LEBENSLAUF ..... 71

9 DANKSAGUNG ..... 72

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|             |   |
|-------------|---|
| ALARA       | As low as reasonably achievable                               |
| ASA         | American Society of Anesthesiologists                         |
| ASS         | Acetylsalicylsäure  |
| AUA         | American Urological Association                               |
| AUG         | Ausscheidungsurographie                                       |
| BMI         | Body-Mass-Index   |
| Charr. / Ch | Charrière   |
| CIRFs       | Clinically insignificant residual fragments                   |
| CT          | Computertomographie   |
| DECT        | Dual-Energy-CT  |
| DGAI        | Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin |
| DGU         | Deutsche Gesellschaft für Urologie                            |
| DJ-Katheter | Doppel-J-Katheter   |
| EAU         | European Association of Urology                               |
| ECIRS       | Endoscopic Combined Intrarenal Surgery                        |
| (E)SWL      | (Extrakorporale) Stoßwellenlithotripsie                       |
| GSS         | Guy's Stone Score   |
| KUB         | Kidney-ureter-bladder radiography                             |
| NBKS        | Nierenbeckenkelchsystem                                       |
| NCCT        | Non-contrast computerized tomography                          |
| NPV         | Negativer prädiktiver Wert                                    |
| PCN         | Perkutane Nephrostomie  |
| PCNL        | Perkutane Nephrolithotomie / -litholapaxie / -lithotripsie    |
| PPV         | Positiver prädiktiver Wert                                    |
| REDCap      | Research electronic data capture                              |
| SFR         | Steinfreiheitsrate(n)   |
| URS         | Ureterorenoskopie   |

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Epidemiologie und Ätiologie der Urolithiasis

Das Harnsteinleiden ist weltweit eine der häufigsten Erkrankungen und kann laut Leitlinie als Volkskrankheit bezeichnet werden<sup>1</sup>. Für die Steinbildung ist die Übersättigung des Urins in Bezug auf ein Mineral entscheidend<sup>2</sup>. Akute steinbedingte Schmerzen, sogenannte Koliken, können daraus resultieren<sup>1</sup>. Bei den meisten Nierensteinen handelt es sich um Calciumsteine, wobei Calciumoxalat etwa 80 % aller Steine ausmacht<sup>3</sup>. Merkmale des metabolischen Syndroms, wie Dyslipidämie, arterieller Hypertonus und Diabetes mellitus, sind Risikofaktoren für die Steinbildung. Darüber hinaus gelten genetische Defekte und Polymorphismen des Calcium- und Phosphathaushaltes sowie Ernährung und Trinkmenge als Risikofaktoren.<sup>4</sup> Die Prävalenz und Inzidenz der Erkrankung sind in den letzten Jahrzehnten sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern gestiegen<sup>5-7</sup>. Ursächlich für diesen Anstieg sind, neben veränderten Lebensumständen und Ernährungsgewohnheiten, die verbesserte medizinische Diagnostik. Mittels minimal-invasiver Techniken können die Harnsteine heute in der Regel therapiert werden.<sup>1</sup> Aufgrund einer hohen Rezidivrate von bis zu 50 %, sollten Hochrisikopatienten identifiziert werden. Bei diesen Patienten ist eine spezifische Stoffwechseluntersuchung erforderlich, um die individuelle Behandlung zu optimieren und ein Wiederauftreten der Steine zu verhindern.<sup>8</sup> Folglich sind die direkten Kosten im Zusammenhang mit der Diagnose, Behandlung und Vorbeugung des Wiederauftretens von Steinen beträchtlich<sup>9</sup>.

## 1.2 Therapiemöglichkeiten

### 1.2.1 Interventionelle Steintherapie des Harntraktes – Indikationen

Neben einer konservativen Therapie, bei welcher der Spontanabgang der Steinmasse abgewartet und die Patienten regelmäßigen Verlaufskontrollen unterzogen werden, um Schmerzmittelbedarf, Infektzeichen und Harntransportstörungen abzuklären, existieren auch interventionelle Therapieoptionen<sup>1</sup>. Diese etablierten interventionellen Behandlungsverfahren zur Steintherapie des Harntraktes lassen sich in nicht-invasive und minimal-invasive Verfahren einteilen.

Die extrakorporale Stoßwellenlithotripsie ((E)SWL) ist die einzige nicht-invasive Behandlungsoption.<sup>10</sup> Im Rahmen der SWL werden extrakorporal schwache

akustische Stoßwellen erzeugt und in den Körper des Patienten abgegeben. Die Energie der Stoßwellen wird auf den Stein übertragen und zerstört diesen.<sup>11</sup> Die Fragmente können über den Urin ausgeschieden werden<sup>10</sup>.

Die ureterorenoskopische Steinentfernung (URS) und die perkutane Nephrolithotomie (PCNL) gehören zu den minimal-invasiven Verfahren<sup>11, 12</sup>. Der Zugang zum Nierenbeckenkelchsystem (NBKS) erfolgt bei der URS über den Harnleiter. Im Rahmen der PCNL wird über eine perkutane Punktion der Zugang zur Niere geschaffen.<sup>11</sup>

Die Indikationen für eine interventionelle Steintherapie sind abhängig von der Steingröße und -lokalisierung, den daraus resultierenden Symptomen sowie dem Obstruktionsgrad<sup>1</sup>. Zudem sollte eine Steinentfernung angestrebt werden, wenn für die Konkremente eine niedrige Wahrscheinlichkeit einer Spontanpassage besteht und keine adäquate Analgesie erreicht werden kann<sup>13</sup>.

Indikationen für eine interventionelle Nierensteinentfernung sind<sup>14</sup>:

- Steinwachstum
- Steingröße > 15 mm
- Steingröße < 15 mm, wenn Beobachtung nicht die Option der Wahl ist
- Patienten mit hohem Risiko für Steinbildung
- Obstruktion verursacht durch Steine
- Infektion
- Symptomatische Steine
- Komorbidität
- Soziale Situation oder Wahl des Patienten (z. B. Beruf oder Reisen)

Indikationen für eine interventionelle Harnleitersteinentfernung sind<sup>14</sup>:

- Geringe Wahrscheinlichkeit einer spontanen Passage
- Anhaltende Schmerzen trotz adäquater Analgesie
- Anhaltende Obstruktion
- Niereninsuffizienz

## 1.2.2 Therapieempfehlungen

Die SWL, die URS und die PCNL sind geeignete interventionelle Therapiemethoden für Nierensteine<sup>15</sup>.

Bei Nierensteinen mit einem Durchmesser von > 20 mm ist die PCNL die Erstlinientherapie, während URS und SWL die Zweitlinientherapie darstellen. Bei Steinen zwischen 10 und 20 mm wird die PCNL-Technik mit der SWL und der URS als Erstlinientherapie empfohlen, während für Steine < 10 mm die PCNL als Zweitlinientherapie in Frage kommt. Die SWL erzielt bei Steinen zwischen 10 und 20 mm in der unteren Kelchgruppe häufig unbefriedigende Abgangsraten. Faktoren wie ein steiler Infundibulum-Becken-Winkel, ein langer Kelch, ein langer Haut-Stein-Abstand sowie ein enges Infundibulum und stoßwellenresistente Steine, können eine erfolgreiche Steinbehandlung durch eine SWL beeinträchtigen. Dies erfordert für Unterkelchsteine zwischen 10 und 20 mm alternative Therapieverfahren wie die PCNL und die URS (vgl. Abb. 1).<sup>1, 14</sup>

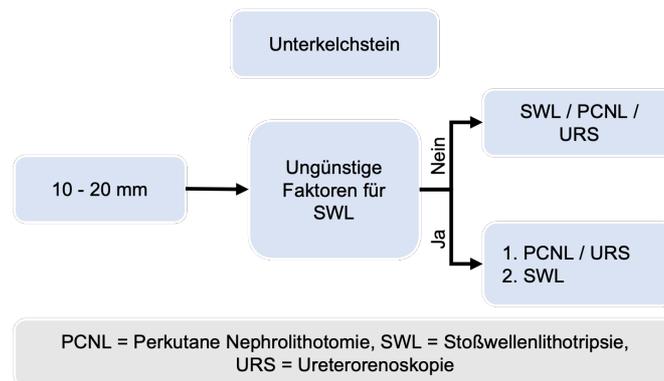


Abb. 1: Therapieempfehlungen Unterkelchsteine<sup>14</sup>

Bei der Therapie von Harnleitersteinen sind die SWL und die URS die Techniken der Wahl. Die Steinfreiheitsraten (SFR) der beiden Verfahren sind vergleichbar. Die URS erhöht die Wahrscheinlichkeit für einen steinfreien Status nach einem einzigen Eingriff, hat jedoch höhere Komplikationsraten als die SWL.<sup>14, 16</sup>

Die Leitlinienempfehlungen der European Association of Urology (EAU) und American Urological Association (AUA) zur Therapie von Nieren- und Harnleitersteinen wurden 2020 vergleichend gegenübergestellt (vgl. Abb. 2)<sup>17</sup>. Die Empfehlungen der Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Urologie (DGU) zur

Therapie von Nierensteinen von 2018 entsprechen den Empfehlungen der EAU von 2020<sup>1</sup>.

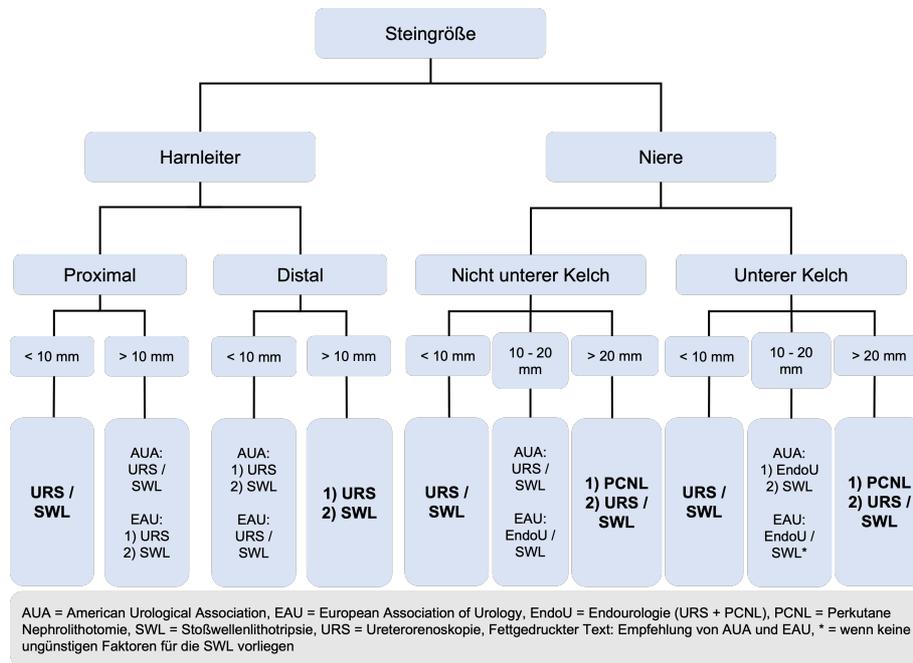


Abb. 2: Flussdiagramm zur Veranschaulichung der empfohlenen Behandlung nach Größe und Lage des Steins<sup>17</sup>

### 1.3 PCNL

#### 1.3.1 Geschichtlicher Hintergrund

1941 entfernten Rupel und Brown den ersten Stein über einen Nephrostomietrakt mithilfe einer Nephroskopie während einer offenen Operation<sup>18, 19</sup>. Durch Willard Goodwin wurde 1955 die erste moderne Nephrostomiekannüle zur vorübergehenden Harnableitung bei Hydronephrose platziert<sup>20</sup>. Dieser Ansatz führte zu der Erkenntnis, dass ein perkutaner Trakt als Zugang zur Niere verwendet werden kann<sup>18</sup>.

Fernström und Johansson beschrieben 1976 als Erste eine Technik zur Extraktion von Nierensteinen durch eine perkutane Nephrostomie unter radiologischer Kontrolle<sup>21</sup>. In Europa wurde die PCNL-Technik durch Alken und Kollegen populär<sup>18</sup>. Ein flexibles Nephroskop wurde durch Wickham 1981 zur Steinextraktion eingesetzt, um Steine außerhalb des Nierenbeckens in peripheren Kelchen entfernen zu können<sup>22</sup>.

Bei der bis 1984 vorherrschenden zweizeitigen PCNL-Technik, wurde nach der perkutanen Punktion der Nephrostomiekanal mit Kathetern zunehmender Größe in

zwei- bis dreitägigen Abständen dilatiert<sup>23</sup>. Um den stationären Aufenthalt zu verkürzen, wurde die PCNL-Technik weiter verbessert, um sie in einem einzigen Schritt durchführen zu können<sup>24</sup>.

Die PCNL-Technik gilt seit Ende der 1980er Jahre als Standardtherapie bei Nierenbeckenausgusssteinen und großen singulären Nierensteinen mit sehr guten SFR<sup>25, 26</sup>. Während die SFR der SWL und der URS proportional zur Steingröße abnehmen, sind sie bei der PCNL weitgehend größenunabhängig<sup>27</sup>.

### 1.3.2 Indikationen

Zu den Indikationen für die PCNL gehören die Faktoren Steingröße, -lage und -zusammensetzung, Habitus und Nierenanomalien des Patienten sowie das Versagen anderer Behandlungsmethoden (SWL und URS)<sup>28</sup>.

Steine mit einem Durchmesser > 20 mm sollten entsprechend der Leitlinie mittels PCNL therapiert werden. Für diese Steine ist die URS eine mögliche Zweitlinienbehandlung, wobei deren SFR geringer ausfällt und Zusatzeingriffe erforderlich sein können.<sup>15</sup> Bei Unterkelchsteinen ab 10 mm kann die PCNL-Technik angewandt werden, da die Wirksamkeit der SWL begrenzt ist<sup>14</sup>. Auch Ausgusssteine sollten laut AUA mittels PCNL therapiert werden. Ein partieller Ausgussstein ist definiert als ein verzweigter Stein, der einen Teil des Sammel systems der Niere einnimmt, während ein vollständiger Ausgussstein das ganze Sammel system ausfüllt.<sup>29</sup>

Außerdem ist die PCNL eine alternative Behandlungsmöglichkeit bei stoßwellenresistenten Steinen aus Calciumoxalat-Monohydrat, Brushit oder Zystin<sup>30</sup>. Des Weiteren ist eine PCNL bei Kelchdivertikelsteinen sowie bei simultan vorliegender anatomisch bedingter Harntransportstörung wie z. B. Kelchhalsstenosen oder Harnleiterabgangsstenosen indiziert, durch die ein Steinabgang unwahrscheinlich wird<sup>27</sup>.

### 1.3.3 Kontraindikationen

Zu den Kontraindikationen einer PCNL zählen unbehandelte Harnwegsinfekte, eine bestehende Schwangerschaft sowie Tumore der Niere oder im Punktionsweg<sup>14</sup>. Die Einnahme von Antikoagulantien bzw. Thrombozytenaggregationshemmern oder das Vorliegen einer Gerinnungsstörung zählen ebenfalls zu den Kontraindikationen<sup>1</sup>. Die Einnahme von Acetylsalicylsäure (ASS) kann nach Indikations- und Risikoprüfung fortgeführt werden<sup>31</sup>. Durch Nierenanomalien, Skelettdeformitäten sowie durch

Interpositionen von benachbarten Organen im Zugangsweg, können sich technische Kontraindikationen ergeben<sup>27</sup>.

#### 1.3.4 Varianten der PCNL-Schaftgrößen

Um die zugangsassoziierten Risiken der Standard-PCNL wie Blutungen und Organverletzungen zu reduzieren, erfolgte die Miniaturisierung der Instrumentengröße<sup>32</sup>.

Man unterscheidet folgende Außendurchmesser<sup>1</sup>:

- Konventionelle PCNL: 24 – 32 Ch
- Mini-PCNL: 14 – 22 Ch
- Ultra-Mini-PCNL: 11 – 13 Ch
- Mikro-PCNL: 4,8 – 11 Ch

Die kleinere Instrumentengröße resultiert in einer längeren OP-Dauer<sup>33</sup>. Dies lässt sich dadurch erklären, dass kleinere Steinfragmente gewonnen werden müssen, um die engeren Instrumente passieren zu können<sup>34</sup>. Durch die Einführung miniaturisierter Techniken der PCNL konnte die allgemeine Invasivität gesenkt und die Komplikationsrate verringert werden. Die SFR sind bei miniaturisierten und konventionellen PCNL-Verfahren vergleichbar.<sup>14</sup>

#### 1.3.5 Präoperative Bildgebung

Durch die präoperative, bildgebende Diagnostik kann das Vorliegen eines Steins bewiesen oder ausgeschlossen werden. Es können zudem Aussagen über die Lokalisation sowie über die Größe und die Röntgeneigenschaften des Steins getroffen werden. Ebenso wird durch die präoperative Bildgebung die Konfiguration des Hohlsystems und die Lage der Niere zu den Nachbarorganen veranschaulicht.<sup>1</sup>  
<sup>27</sup> Des Weiteren können Sekundärpathologien und Therapieoptionen orientierend beurteilt werden<sup>1</sup>.

Als präoperative Bildgebung können Sonographie, Kidney-ureter-bladder radiography / Röntgen-Abdomen (KUB), Computertomographie (CT), Ausscheidungsurographie (AUG) sowie retro- oder antegrade Ureteropyelographie verwendet werden<sup>35</sup>. Letztere kann sowohl bei Kontrastmittelallergie als auch bei eingeschränkter Nierenfunktion erfolgen<sup>1</sup>.

Tabelle 1 und 2 zeigen Unterschiede der Sensitivität, der Spezifität und der Strahlendosis der einzelnen bildgebenden Verfahren zur Steinidentifikation.

Tab. 1: Sensitivität und Spezifität der verschiedenen bildgebenden Verfahren bei der Urolithiasis<sup>1, 36</sup>

| <b>Bildgebung</b>       | <b>Sensitivität (%)</b> | <b>Spezifität (%)</b> |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Sonographie             | 19 – 93                 | 84 – 100              |
| Röntgen-Abdomen         | 44 – 77                 | 80 – 87               |
| Ausscheidungsurographie | 51 – 87                 | 92 – 100              |
| Regular-dose NCCT       | 94 – 100                | 92 – 100              |

Tab. 2: Strahlenexposition der verschiedenen bildgebenden Verfahren bei der Urolithiasis<sup>36, 37</sup>

| <b>Bildgebung</b>       | <b>Strahlendosis (mSv)</b> |
|-------------------------|----------------------------|
| Sonographie             | -                          |
| Röntgen-Abdomen         | 0,5 – 1                    |
| Ausscheidungsurographie | 1,3 – 3,5                  |
| Regular-dose NCCT       | 4,5 – 5                    |
| Low-dose NCCT           | 0,97 – 1,9                 |
| Kontrastverstärktes CT  | 25 – 35                    |

Die Sonographie stellt sowohl in der Notfall- als auch in der Routinediagnostik die erste Wahl dar, insbesondere bei pädiatrischen und schwangeren Patienten. Sie ist schnell durchzuführen, nicht invasiv, gibt keine ionisierende Strahlung ab und ist günstiger als eine CT. Zudem erzielt die Sonographie im Vergleich zur CT gleichwertige Ergebnisse.<sup>37, 38</sup> Allerdings kann die Korrelation der Befunde zwischen Sonographie und CT ohne intravenöse Kontrastmittelverstärkung (NCCT) mit kleinerer Steingröße und Lage im Harnleiter abnehmen. In einer Studie von Viprakasit et al. wichen die sonographischen Messungen bei Steinen  $\leq 5$  mm im Durchschnitt einen Millimeter von den Ergebnissen der CT ab.<sup>39</sup> Mithilfe der Sonographie kann die Dilatation des Hohlsystems und die Lokalisation der Steine beurteilt werden<sup>1</sup>. In der akuten Kolik kann mittels Farbdopplerultraschall das Twinkling-Artefakt zur initialen Diagnose eines Harnleitersteins beitragen<sup>40</sup>.

Die KUB kann bei der Unterscheidung zwischen röntgendurchlässigen und röntgendichten Steinen sowie bei deren Nachsorge hilfreich sein<sup>36</sup>. Sowohl die AUG, die retro- oder antegrade Ureteropyelographie als auch die CT mit Kontrastmittel veranschaulichen die Anatomie und Funktion des Harntraktes. Die CT mit Kontrastmittel bedingt jedoch eine höhere Strahlendosis.<sup>1</sup>

Die reguläre NCCT dient aufgrund ihrer hohen Sensitivität und Spezifität als Standarddiagnostik bei Harnsteinen und stellt diese als hyperdense Areale dar (vgl. Abb. 3)<sup>14, 41</sup>.

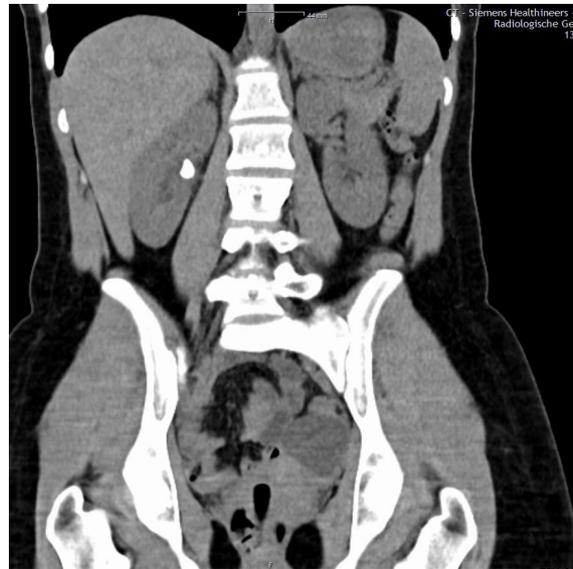


Abb. 3: Präoperative NCCT eines hyperdensen Nierenbeckensteins rechts (eigene Aufnahme 12/2022)

Zudem ermöglicht eine NCCT eine Angabe über die Steinzusammensetzung mittels der Steindichte (in Hounsfield Units). Allerdings ist es nur begrenzt möglich die Steinzusammensetzung mittels NCCT zu bestimmen, da sich die Hounsfield Units der verschiedenen Steintypen erheblich überschneiden. Eine alternative Bildgebungsoption, die Dual-Energy-CT (DECT), ist der konventionellen NCCT hinsichtlich der Unterscheidung von Harnsäuresteinen und Nicht-Harnsäuresteinen überlegen.<sup>42</sup> Diese Unterscheidung kann den Behandlungsplan beeinflussen, da Harnsäuresteine durch Alkalisierung des Urins nicht-invasiv therapiert werden können<sup>14</sup>. Zudem liefert die DECT, neben hoher Sensitivitäts- und Spezifitätswerte (> 95 %), durch Niedrigdosis-Strahlungs-Protokolle eine ähnliche Strahlenbelastung wie die Low-dose NCCT<sup>42</sup>. Die Low-dose NCCT hat bei Patienten mit einem BMI < 30 kg/m<sup>2</sup> für den Nachweis von Harnleitersteinen < 3 mm eine Sensitivität von 86 % und von Nierensteinen < 3 mm eine Sensitivität von 63 %. Für den Nachweis von Harnleitersteinen > 3 mm zeigt sich eine Sensitivität von 100 % und von Nierensteinen > 3 mm eine Sensitivität von 95 %.<sup>43</sup> Zudem unterscheidet sich die Low-dose NCCT von der konventionellen NCCT durch eine Dosisreduktion (vgl. Tab. 2). Hinsichtlich der Harnsteindetektion zeigen sich jedoch keine Unterschiede.<sup>44</sup>

### 1.3.6 Ablauf der PCNL

#### **Antibiose**

Die häufigste Komplikation bei einer interventionellen Steinentfernung ist die Harnwegsinfektion. Eine Invasion von Bakterien oder Endotoxinen in den Blutkreislauf kann zu einer potenziell letalen Urosepsis führen.<sup>45</sup> Daher ist der Urinstatus mit Keimzählung und Urinkultur präoperativ von großer Bedeutung und ein manifester Infekt sollte nach Antibiogramm entsprechend behandelt werden<sup>46</sup>. Eine negative Urinkultur schließt jedoch das Vorhandensein von Bakterien in Steinen oder im Urin innerhalb des Nierenbeckens nicht aus. Aufgrund dieses potenziellen und dem allgemeinen Infektionsrisiko durch die Behandlung ist eine Antibiotikaprophylaxe in der Endourologie angezeigt.<sup>45</sup>

#### **Lagerung**

Zunächst wird ein Ureterkatheter zur retrograden Kontrastmittelfüllung des Hohlsystems in Steinschnittlage eingeführt. Der Patient wird dann entsprechend umgelagert.<sup>46</sup>

Seit der Einführung der PCNL ist die Bauchlage die bevorzugte Lagerung. Sie bietet eine große Oberfläche für den perkutanen Nierenzugang und für die Instrumentenmanipulation. Die PCNL in modifizierter Rückenlagerung wird jedoch immer beliebter.<sup>47</sup>

Ein Vorteil der Rückenlagerung ist eine kürzere OP-Dauer, da keine Umlagerung erforderlich ist<sup>27</sup>. Zudem besteht die Möglichkeit des kombinierten retrograd-perkutanen Zugangs *Rendez-vous* bzw. *Endoscopic Combined Intrarenal Surgery (ECIRS)*<sup>27, 48</sup>. Der Vorteil des leichten Zugangs zur Harnröhre für simultane retrograde Techniken in Rückenlage ist auch mit Modifikationen in Bauchlage, wie z. B. der *Split-Leg-Technik*, möglich<sup>47</sup>. Aus anästhesiologischer Sicht scheint die Rückenlagerung insbesondere für Hochrisikopatienten besser geeignet zu sein<sup>49</sup>. Die Rückenlage bietet eine bessere Atemwegskontrolle und verringert das Risiko einer Verlegung des Endotrachealtubus<sup>47</sup>. Eine kardiopulmonale Reanimation oder Defibrillation ist in Rückenlage sofort möglich, während Patienten in Bauchlage zuerst umgelagert werden müssen<sup>50</sup>.

Sowohl die SFR als auch die Komplikationsrate sind für beide Lagerungsarten ähnlich<sup>47, 51</sup>. Der wichtigste Faktor bei der Entscheidung für eine Bauch- oder eine Rückenlagerung ist die Erfahrung des Operationsteams<sup>47</sup>.

## **Zugangsweg und Punktion**

Bei der PCNL stellt die genaue Punktion des Nierenbeckenkelchsystems den wesentlichen und anspruchsvollsten Schritt dar<sup>52</sup>. Die Durchleuchtung ist die am häufigsten verwendete Bildgebungsmodalität für diese Punktion. Der Einsatz dieses Verfahrens führt jedoch zu einer Strahlenbelastung des Patienten.<sup>53</sup> Bei der alternativen ultraschallgestützten Punktion der Niere sind keine Röntgenstrahlen und kein intravenöses Kontrastmittel erforderlich<sup>54</sup>.

Heutzutage werden die Durchleuchtung und der Ultraschall einzeln oder in Kombination als bildgebende Standardmethode zur Punktion eingesetzt<sup>55, 56</sup>. Durch die Zusammenführung der beiden Bildgebungen kann sich dem Operateur die dreidimensionale Kelchanatomie erschließen<sup>46</sup>. Ein kombinierter Ansatz wird vor allem bei schwierigen Nierenpunktionen verwendet<sup>57</sup>. Auch benachbarte Organe können mithilfe der sonographischen Bildgebung identifiziert werden<sup>27, 58</sup>.

Laut Corrales et al. zeigen sich zwischen den beiden Verfahren keine Unterschiede in Bezug auf den Erfolg des perkutanen Zugangs, Blutungen, OP-Dauer, postoperative Komplikationen oder Krankenhausaufenthalte<sup>57</sup>.

Um das Blutungsrisiko möglichst gering zu halten, sollte die Punktion in einen dorsalen Kelch der unteren Kelchgruppe erfolgen. Dort findet sich die geringste Dichte an Blutgefäßen. Als ideal gilt eine Punktion, welche zentral durch die Papille und den dilatierten Kelch direkt in das Nierenbecken verläuft.<sup>46</sup>

## **Dilatation**

Alle weiteren Schritte erfolgen unter ständiger Durchleuchtung. Der Zugang wird mittels Plastik- oder Metaldilatatoren erweitert. Anschließend wird ein Führungsdraht eingeführt.<sup>46</sup> Dieser erhält bei einer Dislokation des Nephroskops den Zugang zum Kelch<sup>27</sup>. Um ein Nephroskop perkutan in die Niere einführen zu können, erfordert die PCNL einen geeigneten perkutanen Trakt<sup>59</sup>. Dies kann durch eine sukzessive koaxiale Dilatation über einen Führungsstab mittels mehrfach verwendbaren metallischen Teleskopdilatoren nach Alken, Kunststoff- oder Ballondilatoren erzielt werden<sup>27, 46, 60</sup>. Durch das Nephroskop kann das Hohlsystem unter ständiger Niederdruckspülung inspiziert und die Steinmasse aufgesucht werden<sup>46</sup>.

## **Desintegration und Extraktion**

Mittels Faszangen oder Körbchen können Konkremente extrahiert werden<sup>27</sup>. Kleinere Konkremente können im Ganzen entfernt werden. Größere Steinmassen werden mittels Ultraschallbohrsonden, pneumatischen Systemen, elektrohydraulischen Systemen oder mittels Lasersonden desintegriert und anschließend extrahiert.<sup>46</sup>

Im Anschluss werden röntgenologisch durch Gabe von Kontrastmittel in das Nierenbeckenkelchsystem und endoskopisch durch eine flexible Nephroskopie die Nierenkelche nach Restkonkrementen abgesucht<sup>46</sup>. Die Kombination beider Verfahren ermöglicht eine sensible und spezifische intraoperative Erkennung von Restfragmenten. Im Rahmen einer Studie von Portis et al. lag die Genauigkeit der beiden Verfahren bei der intraoperativen Erkennung von 0, 2 bzw. 4 mm großen Restfragmenten bei 76 %, 76 % und 96 %.<sup>61</sup> Falls Restfragmente vorhanden, jedoch nicht mit flexiblen Instrumenten extrahierbar sind, können diese mithilfe weiterer Punktionen (Multitrakt PCNL) erreicht werden. Beim sogenannten *Sandwich-Verfahren* werden die Restfragmente mittels sekundärer SWL desintegriert und anschließend in einem erneuten perkutanen Eingriff entfernt.<sup>25, 58</sup>

## **PCN**

Zum Ende der OP wird über den punktierten Kelch meist eine perkutane Nephrostomie (PCN) in das Hohlsystem eingelegt<sup>1</sup>. Durch die PCN wird die Urindrainage gesichert und Blutungen durch Kompression des Punktionstraktes gestillt. Der Zugang kann für sekundäre Eingriffe genutzt werden.<sup>46, 62</sup> Bei stärkeren Blutungen kann die PCN für zwei bis vier Stunden abgeklemmt werden<sup>27</sup>.

Bei einer *tubeless* PCNL wird auf die PCN-Einlage verzichtet. Dies kann bei ausgewählten Patienten mit unkompliziertem OP-Verlauf ohne Blutungen und sicherer Steinfreiheit angewendet werden.<sup>46</sup> Vorteile dieses Verfahrens sind eine kürzere Krankenhausverweildauer und geringere postoperative Schmerzen<sup>63, 64</sup>.

## **Komplikationen**

Die venöse Blutung gilt als häufigste intraoperative Komplikation. Zudem können benachbarte Organe wie Leber, Milz, Pankreas, Darm und Pleura verletzt werden. Durch die simultane ultraschall- und durchleuchtungsgestützte Punktion sind diese Komplikationen seltener geworden. Eine weitere intraoperative Komplikation stellt die

Perforation des Nierenbeckens mit Urinextravasation dar. Die Inzidenz von postoperativem Fieber und Urosepsis ist durch eine präoperative antibiotische Behandlung von Harnwegsinfekten und eine perioperative Antibiose deutlich gesunken.<sup>27</sup>

### 1.3.7 Postoperative Bildgebung und Nachsorge

Das Hauptziel der Operation ist das Erreichen der Steinfreiheit, um das Risiko künftiger steinbedingter Ereignisse und begleitender Operationen zu minimieren<sup>65</sup>. Reststeine sind jedoch ein häufiges Problem<sup>66</sup>. Um diese zu erkennen, können nach der ersten Intervention bildgebende Verfahren wie KUB, Sonographie oder CT eingesetzt werden<sup>66, 67</sup>. Im Vergleich zu KUB und Sonographie setzt die CT den Patienten einer höheren Strahlenbelastung aus. Allerdings kann die CT schnell durchgeführt werden, erfordert keine Kontrastmittelgabe und erkennt Steine aller Größen mit hoher Empfindlichkeit.<sup>41, 68</sup> Im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren zeigt die NCCT eine höhere Sensitivität beim Nachweis kleiner Restfragmente nach Steintherapie<sup>14, 68</sup>. Zudem kann mittels NCCT-Bildgebung, neben dem Steindurchmesser, auch die Steindichte und der Haut-Stein-Abstand bestimmt werden. Dies wirkt sich auf die Wahl des evtl. zusätzlichen Behandlungsverfahrens aus.<sup>36</sup> Die postoperative CT wird in vielen Zentren routinemäßig am ersten postoperativen Tag durchgeführt, kann nach einer Steinentfernung im Ganzen aber auch entfallen<sup>35, 69</sup>. Abbildung 4 zeigt einen steinfreien NCCT-Befund am ersten postoperativen Tag.

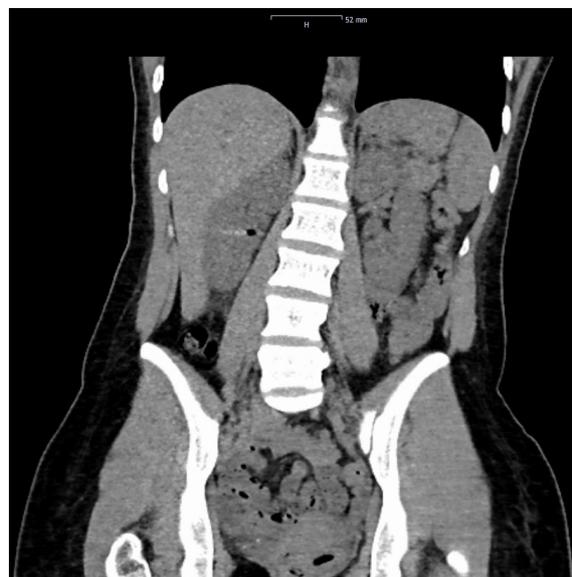


Abb. 4: Postoperative NCCT eines steinfreien NBKS rechts mit einliegender PCN (eigene Aufnahme 12/2022)

Bei nachgewiesenen Restfragmenten erfolgt, je nach Größe und Lokalisation eine erneute perkutane Steintherapie, eine SWL oder eine URS<sup>46</sup>. Klinisch unbedeutende Restfragmente (*clinically insignificant residual fragments* (CIRFs)) sind, je nach Quelle, Restfragmente, die < 4 mm oder < 5 mm, asymptomatisch, nichtobstruktiv, nichtinfektiös und mit sterilem Urin verbunden sind<sup>70</sup>. CIRFs können spontan ausgeschieden oder relevant werden, wenn sie als Nidus für wiederkehrendes Steinwachstum dienen, sich akut lösen und eine Obstruktion mit Schmerzen und Infektionen verursachen oder wenn sie zur Quelle persistierender Harnwegsinfektionen werden<sup>71</sup>.

Die Entscheidung bezüglich des Zeitpunktes einer Kontrollbildgebung und die Indikationsstellung zu einer erneuten Operation, bleibt der Einschätzung des behandelnden Arztes überlassen<sup>35</sup>. Nach aktueller Leitlinie soll zur Erkennung von Restfragmenten nach SWL, URS oder PCNL eine zeitversetzte Bildgebung besser geeignet sein als eine Bildgebung unmittelbar nach dem Eingriff. Eine erneute Intervention sollte bei Restfragmenten > 4 mm erfolgen.<sup>14</sup>

Nach einem Steinereignis sollte jeder Patient in eine Niedrig- oder Hochrisikogruppe für Steinbildung eingeteilt werden<sup>14</sup>. Für alle Urolithiasispatienten ist, unabhängig von ihrem individuellen Risiko, eine allgemeine Harnsteinmetaphylaxie empfohlen<sup>30</sup>. Diese Maßnahmen enthalten eine Normalisierung der Ernährungsgewohnheiten, der Lebensstilrisiken und eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr<sup>14</sup>. Steinbildner mit hohem Risiko benötigen, neben einer Blutuntersuchung, eine zweimalige 24-Stunden Urinanalyse im Rahmen der erweiterten metabolischen Diagnostik. Erfolgte für Patienten der Hochrisikogruppe eine spezifische pharmakologische Rezidivprophylaxe, sollten weitere Nachsorgeuntersuchungen zur Überprüfung des Therapieerfolgs stattfinden.<sup>14, 30</sup>

Durch die Häufigkeit wiederkehrender Steinepisoden, müssen sich viele betroffene Patienten im Laufe ihres Lebens wiederholt Bildgebungen unterziehen<sup>39</sup>. In einer multizentrischen retrospektiven Studie wurden Patienten mit einer akuten Steinepisode hinsichtlich der Häufigkeit der Bildgebungen innerhalb des ersten Jahres nach dem akuten Ereignis untersucht. Während des ersten Jahres wurden durchschnittlich vier radiologische Untersuchungen durchgeführt. Davon waren mehr als ein Viertel CT-Aufnahmen.<sup>72</sup> Sie sind somit einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt<sup>38</sup>. Die durchschnittliche Strahlenbelastung durch die CT ist in der Harnsteindiagnostik über die Jahre gesunken, steht aber noch nicht im Einklang mit

dem ALARA-Grundsatz (as low as reasonably achievable)<sup>73</sup>. Durch die Reduzierung der postoperativen CT-Bildgebung kann die Strahlenbelastung für Patienten mit Nephrolithiasis gesenkt werden<sup>69, 72</sup>.

#### 1.4 Fragestellung

Eine Reduzierung der CT-Bildgebungen im Anschluss an eine PCNL kann eine Senkung der Strahlenbelastung erzielen. Ziel dieser Arbeit ist die Klärung der Frage, ob eine postoperative NCCT-Bildgebung notwendig ist oder ob die durch den Operateur intraoperativ evaluierte Steinfreiheit eine ausreichende Beurteilung darstellt.

Dafür wurden retrospektiv prä-, intra- und postoperative Daten der perkutan transrenalen Steinentfernung von 2009 bis 2020 in einer Datenbank gesammelt. Als Schwerpunkt der Analyse wurde die intraoperative Beurteilung der Steinfreiheit nach PCNL durch den Operateur mit der postoperativen NCCT verglichen und überprüft, ob die Methoden gleichwertig sind. Des Weiteren wurden mögliche Faktoren, die zu einer Diskordanz der beiden Methoden führen, analysiert.

Darüber hinaus wurde die Signifikanz der computertomographischen Restfragmente mit den Resultaten der Zusatzeingriffe verglichen sowie die postoperativen Steinfreiheitsraten und deren Einflussfaktoren ermittelt.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Informationen zur Datenbank

Für diese Arbeit wurden alle Fälle mit den ICD-Ziffern 5-550.20 (Perkutan transrenale Steinentfernung) und / oder 5-550.30 (Perkutan transrenale Steinentfernung mit Desintegration (Lithotripsie)) der Klinik für Urologie und Urochirurgie des Universitätsklinikums Mannheim, die vom 18.02.2009 bis zum 21.09.2020 versorgt wurden, gesammelt (n = 716). Eine Fallnummer steht für einen stationären Aufenthalt. Erfolgte mehrere PCNL-Behandlungen bei einem Patienten während verschiedener stationärer Aufenthalte, wurde jede Behandlung als ein selbstständiger Fall berücksichtigt.

Präoperative, intraoperative und postoperative Informationen der PCNL-Eingriffe wurden mittels des krankenhausinternen Patientenverwaltungssystems aus den jeweiligen Arztbriefen, OP-Berichten und OP-Protokollen sowie aus radiologischen Berichten entnommen. Diese Daten wurden von Oktober 2020 bis März 2021 in einer Datenbank gesammelt.

Zur Erstellung der Datenbank wurde die *REDCap-Software* (Research electronic data capture) verwendet. Zu Beginn wurden für diese Arbeit spezifische prä-, intra- und postoperative Variablen festgelegt. Zur besseren Übersicht der Datenbank wurde jeder Fall in die drei Abschnitte präoperative, intraoperative und postoperative Daten gegliedert.

#### 2.1.1 Präoperative Daten

Präoperativ wurden das Geburtsdatum, das Alter (in Jahren), die Größe (in cm), das Gewicht (in kg), der errechnete Body-Mass-Index (BMI in kg/m<sup>2</sup>) und das Geschlecht (weiblich, männlich, divers) dokumentiert.

Es wurden nur die Harnsteine berücksichtigt, welche im Rahmen der PCNL operiert wurden. Dafür wurde die betroffene Seite sowie die Anzahl, die Lokalisation in der Niere und die Steingröße (Durchmesser in mm) dokumentiert. Alle Daten zu den Steinen wurden den Arztbriefen und dem präoperativen CT-Befund entnommen. Anschließend wurden diese Angaben mit dem OP-Bericht abgeglichen und gegebenenfalls korrigiert. So wurde ein im Arztbrief angegebener Stein, welcher während der OP unter Sicht nicht existierte, nicht dokumentiert. Steine, welche in der OP zusätzlich gesichtet wurden, im Arztbrief aber nicht genannt waren, wurden

ergänzt. Bei unterschiedlichen Steinangaben zu Steingröße oder -lokalisierung in Arztbrief und OP-Bericht, wurde die unter Sicht getroffene Angabe des OP-Berichts übernommen. Falls im Arztbrief zwei Steine verschiedener Lokalisation genannt wurden, im OP-Bericht aber nur von einem dieser Steine berichtet wurde, wurde der zweite trotzdem dokumentiert, da es sich in diesem Fall um ein postoperatives Restkonkrement handeln könnte. In wenigen Ausnahmen wurde die Steinlokalisierung in Arzt- oder OP-Bericht lediglich mit der Bezeichnung *in mehreren Kelchen* angegeben, weshalb die initiale Steinlage und -größe in der präoperativen Bildgebung selbstständig ermittelt wurde. Zusätzlich wurde der Guy's Stone Score (GSS) bestimmt. Der GSS wurde 2010 von Thomas et al. entwickelt und dient der Einstufung der Komplexität eines PCNL-Eingriffs. Der GSS umfasst vier Grade<sup>74</sup>:

- Grad I: einzelner Stein im mittleren / unteren Pol oder einzelner Stein im Becken mit einfacher Anatomie
- Grad II: einzelner Stein im oberen Pol oder mehrere Steine bei einem Patienten mit einfacher Anatomie oder ein einzelner Stein bei einem Patienten mit abnormaler Anatomie
- Grad III: mehrere Steine bei einem Patienten mit abnormaler Anatomie oder Steine in einem Kelchdivertikel oder partieller Ausgussstein
- Grad IV: Ausgussstein oder jeder Stein bei einem Patienten mit Spina bifida oder Wirbelsäulenverletzung

Darüber hinaus wurde bei jedem Patienten die ASA-Klassifikation erfasst, um die präoperative körperliche Verfassung zu berücksichtigen. Die Klassifikation der American Society of Anesthesiologists (ASA-Klassifikation) klassifiziert Patienten im Hinblick auf ihre präoperative körperliche Verfassung, teilt sie nach ihren Erkrankungen in Gruppen ein und korreliert gut mit dem perioperativen Risiko. Bei fehlender Dokumentation der ASA-Klassifikation wurde diese selbst bestimmt (vgl. Tab. 3)<sup>75</sup>.

Tab. 3: ASA-Klassifikation<sup>75</sup>

| ASA-Klasse | DGAI 2010   | ASA 2014   |
|------------|---|--|
| I          | Normaler, gesunder Patient  | Gesund, Nichtraucher, kein oder minimaler Alkoholkonsum  |
| II         | Patient mit leichter Allgemeinerkrankung (z. B. gut eingestellter Hypertonus, schwach ausgeprägter Diabetes)                              | Raucher, regelmäßiger Alkoholkonsum (z. B. zu sozialen Anlässen), Schwangerschaft, Adipositas (BMI 30 - 40 kg/m <sup>2</sup> ), gut eingestellter DM oder aHT, leichte Lungenerkrankung  |
| III        | Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung (z. B. Angina pectoris, früherer Myokardinfarkt, COPD)   | Schlecht eingestellter DM oder aHT; COPD, BMI $\geq$ 40 kg/m <sup>2</sup> , Hepatitis, Drogenmissbrauch (einschließlich Alkohol), Schrittmacher, reduzierte myokardiale EF, terminale Niereninsuffizienz mit Dialysepflichtigkeit, Apoplex, TIA, MI oder KHK mit Stent-Versorgung > 3 Monate zurückliegend |
| IV         | Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung darstellt (z. B. chronische Herzinsuffizienz, Nierenversagen) | MI, Apoplex, TIA oder KHK mit Stent-Versorgung < 3 Monate zurückliegend, schwere Herzklappenvitien, Herzinsuffizienz mit stark reduzierter EF, Sepsis, DIC, akutes Nierenversagen  |
| V          | Moribunder Patient, von dem nicht erwartet wird, dass er ohne Operation überlebt (z. B. rupturiertes BAA)                                 | Rupturiertes abdominelles / thorakales Aortenaneurysma, schweres Polytrauma, intrakranielle Blutung mit Hirndruck / Mittellinien-Shift, kritische Darmischämie, Multiorganversagen   |
| VI         | Hirntoter Organspender  | -  |

aHT = arterielle Hypertonie, ASA = American Society of Anesthesiologists, BAA = Bauchaortenaneurysma, BMI = Body-Mass-Index, COPD = „chronic obstructive pulmonary disease“ (chronisch obstructive Lungenerkrankung), DGAI = Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, DIC = „disseminated intravascular coagulation“ (disseminierte intravasale Gerinnung), DM = Diabetes mellitus, EF = Ejektionsfraktion, KHK = koronare Herzkrankheit, MI = Myokardinfarkt, TIA = transitorische ischämische Attacke

Neben den Vorerkrankungen wurde auch der Nikotin- und Alkoholkonsum der Patienten ermittelt. Auch präoperative Nierenerkrankungen wie eine Hufeisen- oder eine Doppelnieren wurden dokumentiert.

Das Ergebnis der präoperativen Urinkultur eines jeden Patienten wurde ermittelt, wobei Werte  $> 10^3$  KBE/ml (Kolonie-bildende Einheit) als *positive Urinkultur* gewertet wurden. Außerdem wurden sowohl der präoperative Hämoglobinwert als auch die Leukozytenzahl erfasst.

### 2.1.2 Intraoperative Daten

Es wurde das OP-Datum und die Durchführung einer präoperativen Antibiose erhoben. Des Weiteren wurden Daten über präoperativ einliegende Doppel-J-Katheter (DJ-Katheter), den OP-Zugang, die Punktion, die Schaftgröße sowie die Steinfragmentation und Steinextraktion ermittelt.

Die OP-Dauer wurde mithilfe der Zeitpunkte des Hautschnittes und der Hautnaht errechnet. Ebenso wurden die Durchleuchtungsdauer (in min) und die Durchleuchtungsstärke (in  $\mu\text{Gym}^2$ ) erhoben.

Angaben über eine Steinmigration und intraoperative Komplikationen wurden ebenfalls herausgearbeitet.

Das intraoperative Verfahren zur abschließenden Inspektion des Nierensammelsystems wurde erfasst. Hierbei gab es die Möglichkeiten des radiologischen Vorgehens oder der Nephroskopie. Bei Restfragmenten konnte eine genaue Reststeingröße (in mm) aus der Beurteilung des Operateurs nicht entnommen werden. Somit wurden alle vom Operateur beurteilten *Restfragmente*, unabhängig von ihrer Größe, als solche gewertet. Dem OP-Bericht war nicht immer eine klare Aussage bezüglich der Beurteilung der Steinfreiheit zu entnehmen. In diesen Fällen wurde die Beurteilung als *unklar* definiert.

Falls der Operateur die Operation mit einer fehlenden Steinfreiheit beurteilte, wurden die notwendigen Zusatzeingriffe dokumentiert.

### 2.1.3 Postoperative Daten

Die postoperative Liegedauer (in Tagen) wurde errechnet. Ebenso wurden der letzte ermittelte Hämoglobinwert und die Leukozytenzahl notiert.

Es wurde dokumentiert ob Harnleiterschienen, transurethrale Katheter und PCNs direkt nach der Operation entfernt wurden oder noch einlagen. Bei einer PCN wurde zusätzlich die Größe (in Charr.) ermittelt.

Das Ergebnis der Steinanalyse wurde dokumentiert. Das Verfahren zur Ermittlung der Steinfreiheit wurde als postoperative Diagnostik bezeichnet und das jeweilige Ergebnis in Bezug auf Restfragmente festgehalten. Falls laut postoperativer Diagnostik noch Restfragmente vorhanden waren, wurden deren Lage und Größe ermittelt. Es wurde zwischen *signifikanten* ( $> 4$  mm) und *nicht signifikanten* ( $\leq 4$  mm) Reststeinen unterschieden. Diese Klassifizierung basiert auf einer Studie von Hübner et al. aus dem Jahr 1993, in der die Häufigkeit der spontanen Steinpassage in Bezug auf die Größe und Lage des Steins analysiert wurde<sup>76</sup>.

Wurde aufgrund von Restfragmenten ein weiterer Eingriff durchgeführt, wurde das entsprechende Verfahren genannt. Es wurden nur das Verfahren und das Ergebnis des ersten Zusatzeingriffs dokumentiert. Empfohlene Zusatzeingriffe, welche vom Patienten verweigert wurden oder deren Unterlagen nicht vorlagen, wurden mit dem Resultat *keine Angabe* festgehalten.

Traten innerhalb von 30 Tagen postoperativ OP-assoziierte Komplikationen auf, wurden diese dokumentiert und daraus der an die PCNL-Operation angepasste Clavien-Dindo-Komplikationsscore ermittelt (vgl. Tab. 4)<sup>77</sup>.

Tab. 4: Clavien-Dindo-Komplikationsscore<sup>77</sup>

| Grad | Bedeutung  | Komplikationen in der Urologie (PCNL)   |
|------|--|---|
| 0    | Keine Komplikationen   | Keine Komplikationen  |
| I    | Abweichung vom normalen postoperativen Verlauf ohne die Notwendigkeit eines Eingriffs                        | Fieber, vorübergehende Erhöhung des Serumkreatinins   |
| II   | Kleinere Komplikationen, die einen Eingriff erfordern  | Bluttransfusion, Urinverlust < 12 h, Infektionen, die zusätzliche Antibiotika erfordern (anstelle von Prophylaktika), Wundinfektion, Harnwegsinfektion, Lungenentzündung                                      |
| IIIa | Komplikationen, die einen Eingriff ohne allgemeine Anästhesie erfordern                                      | Einsetzen eines Doppel-J-Stents bei Urinverlust > 24 h, Einsetzen eines Doppel-J-Stents bei Verletzung der UPJ und des Beckens, Urinom, Pneumothorax, Retention und Koliken aufgrund von Blutgerinnseln       |
| IIIb | Komplikationen, die einen Eingriff unter Vollnarkose erfordern   | Ureter-Blasen-Stein, Kelchhalsstriktur, UPJ-Verschluss, AV-Fistel, interventionsbedürftiges perirenales Hämatom, perinephritischer Abszess, perioperative Blutung, die einen Abbruch der Operation erfordert. |
| IVa  | Lebensbedrohliche Komplikationen, die eine IC-Behandlung erfordern (Funktionsstörung eines einzelnen Organs) | Verletzung benachbarter Organe, Myokardinfarkt, Nephrektomie, Lungenversagen  |
| IVb  | Lebensbedrohliche Komplikationen, die eine IC-Behandlung erfordern (Funktionsstörung mehrerer Organe)        | Urosepsis   |
| V    | Tod  | Tod   |

AV-Fistel = arteriovenöse Fistel, IC-Behandlung = Intermediate Care, PCNL = Perkutane Nephrolithotomie, UPJ = Ureteropelvic junction obstruction (Nierenbeckenabgangsenge)

## 2.2 Fallauswahl zur statistischen Analyse

Zu Beginn umfasste das Untersuchungskollektiv 716 PCNL-Fälle. Anhand der vorab festgelegten Ausschlusskriterien wurden im Verlauf der Datenbankerstellung 106 Fälle ausgeschlossen.

Die Ausschlusskriterien lauteten:

- Rückenlagerung (n = 43)
- Keine PCNL (URS, SWL, PCN-Einlage, Mono-J-Darstellung) bzw. keine singuläre PCNL (ECIRS) durchgeführt (n = 36)
- Seitenangabe OP-Gebiet inkongruent in Arztbrief und OP-Bericht (n = 6)
- Fehlender OP-Bericht oder fehlender Arztbrief (n = 3)
- Inkrustierter DJ-Katheter statt Stein (n = 2)
- Abbruch PCNL vor Punktion (frustran), Zusatzeingriff neuer stationärer Aufenthalt (n = 8)
- Alter < 16 Jahre (n = 16)

Um einheitliche Rahmenbedingungen für die Auswertung der PCNL-Eingriffe zu schaffen, wurden nur solche in Bauchlagerung ausgewertet.

Von den ursprünglich 716 PCNL-Fällen wurden 610 für diese Arbeit berücksichtigt.

## 2.3 Statistische Analyse

### 2.3.1 Vergleich intraoperative und computertomographische Beurteilung der Steinfreiheit

Es erfolgte der Vergleich der intraoperativen Beurteilung der Steinfreiheit durch den Operateur mit der computertomographischen Beurteilung der Steinfreiheit. Hierfür wurden nur Fälle mit einer eindeutigen Beurteilung durch den Operateur (*Restfragmente, keine Restfragmente*) und einer postoperativ durchgeführten NCCT berücksichtigt (n = 418) (vgl. Abb. 5).

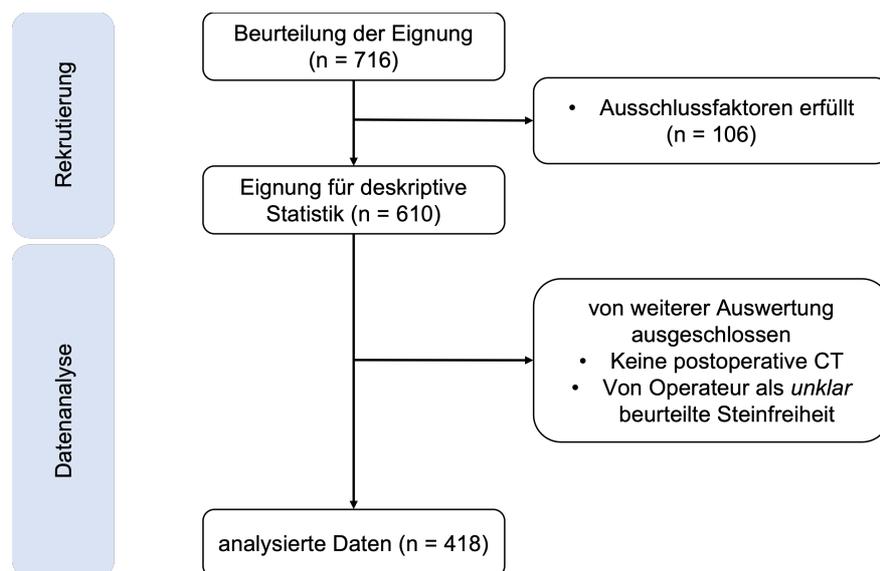


Abb. 5: Auswahldiagramm für spezifische Fragestellung

Wie bereits erwähnt, konnte aus der Beurteilung des Operateurs keine genaue Größe der Restfragmente entnommen werden und alle vom Operateur beurteilten Restfragmente wurden unabhängig von ihrer Größe als solche gewertet. Daher wurden in diesem Vergleich für die computertomographische Beurteilung von Restfragmenten ebenfalls Fragmente  $\leq 4$  mm und  $> 4$  mm als Restfragmente gewertet.

### 2.3.2 Einflussfaktoren einer diskordanten Beurteilung der Steinfreiheit

Um bei verschiedenen Faktoren deren Einfluss auf den nicht übereinstimmenden (n = 181) Steinfreiheitsstatus von Operateur und CT-Bildgebung zu untersuchen, wurde diese Analyse durchgeführt.

Folgende Faktoren wurden untersucht:

Klinische Parameter:

- Geschlecht: männlich bzw. weiblich
- BMI: < 30 bzw.  $\geq$  30 (in kg/m<sup>2</sup>)
- ASA-Klasse: < 3 bzw.  $\geq$  3
- GSS: I - IV, < II bzw.  $\geq$  II
- Maximale Steingröße: < 15 bzw.  $\geq$  15 (Durchmesser in mm)

Intraoperative Parameter:

- OP-Dauer: < 110 bzw.  $\geq$  110 (in min)
- OP-Art / Schaftgröße: Mini-PCNL bzw. Konventionelle PCNL

Postoperative Parameter:

- Postoperative Krankenhausverweildauer:  $\leq$  3 bzw. > 3 (in Tagen)

Ordinal- bzw. verhältnisskalierte Merkmale wurden, um zusätzliche Auswertungen zu ermöglichen, in nominalskalierte Merkmale überführt. Die Unterteilung des BMI erfolgte anhand der offiziellen Definition für Adipositas bei 30 kg/m<sup>2</sup><sup>78</sup>. Das nun nominalskalierte Merkmal besitzt die möglichen Ausprägungen eines *nicht adipösen Patienten* (< 30 kg/m<sup>2</sup>) und eines *adipösen Patienten* ( $\geq$  30 kg/m<sup>2</sup>). Die ASA-Klassifikation wurde auf der Grundlage der Definition der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) von 2010 bzw. der ASA-Definition von 2014 für schwere Allgemeinerkrankungen bei Klasse III geteilt<sup>75</sup>. Das nun nominalskalierte Merkmal besitzt die möglichen Ausprägungen eines Patienten mit *maximal leichten Allgemeinerkrankungen* (ASA-Klasse < 3) und eines Patienten mit *mindestens schweren Allgemeinerkrankungen* (ASA-Klasse  $\geq$  3). Der GSS wurde anhand des Medians in ein nominalskaliertes Merkmal überführt und besitzt die möglichen Ausprägungen eines *niedrigen GSS-Grades* (< II) und eines *hohen GSS-Grades* ( $\geq$  II). Die maximale Steingröße beschreibt den Durchmesser (in mm) des

jeweils größten präoperativ vorhandenen Steins. Dieses anhand des Medians überführte nominalskalierte Merkmal besitzt die möglichen Ausprägungen einer *maximalen Steingröße*  $< 15 \text{ mm}$  und einer *maximalen Steingröße*  $\geq 15 \text{ mm}$ . Die OP-Dauer (in min) wurde ebenfalls anhand des Medians in ein nominalskaliertes Merkmal überführt und besitzt die möglichen Ausprägungen einer *kürzeren OP-Dauer* ( $< 110 \text{ min}$ ) und einer *längeren OP-Dauer* ( $\geq 110 \text{ min}$ ). BMI, GSS, Steingröße und OP-Dauer wurden für diese Analyse ausgewählt, da sie in bereits veröffentlichten Studien einen signifikanten Einfluss gezeigt haben. Die postoperative Krankenhausverweildauer (in Tagen) wurde anhand des Medians in ein nominalskaliertes Merkmal überführt und besitzt die Ausprägungen einer *kürzeren Krankenhausverweildauer* ( $\leq 3 \text{ Tage}$ ) und einer *längeren Krankenhausverweildauer* ( $> 3 \text{ Tage}$ ).

### 2.3.3 Vergleich computertomographischer Signifikanz der Restfragmente mit Resultaten der Zusatzeingriffe

Dieser Vergleich erfolgte, um zu bewerten, wie gut mittels CT-Bildgebung die Größe der Restfragmente nach einer PCNL beurteilt werden konnte und wie hoch die Falsch-Positiv-Rate bzw. die Spontanabgangsrate war. Hierfür wurde die computertomographische Größenangabe der Restfragmente mit der intraoperativen Steingröße, die im Rahmen einer erneuten Intervention ermittelt wurde, verglichen. Es wurden nur Fälle betrachtet, welche sowohl mittels postoperativer CT-Bildgebung eine Einteilung der Restfragmente in *signifikant* ( $> 4 \text{ mm}$ ) und *nicht signifikant* ( $\leq 4 \text{ mm}$ ) enthielten, als auch im Rahmen eines Zusatzeingriffs, eine intraoperative Einteilung in *relevante Restfragmente* ( $> 4 \text{ mm}$ ) und *keinen Steinnachweis* besaßen ( $n = 114$ ). Aufgrund der ungenauen und meist fehlenden Größenangabe der Restfragmente im OP-Bericht des Zusatzeingriffs, wurden alle noch vorhandenen Restfragmente als *relevant* gewertet.

### 2.3.4 Einstufige Steinfreiheitsrate und Steinfreiheitsrate bei Entlassung

Die SFR nach einem einzigen PCNL-Verfahren wird auch als *einstufige* SFR bezeichnet. Steine  $\leq 4 \text{ mm}$  wurden im Rahmen dieser Analyse als Restfragmente gewertet. Folgende Fälle wurden in dieser Arbeit als einstufig steinfrei bewertet:

- postoperative Steinfreiheit (computertomographisch oder mittels anderer postoperativer Diagnostik bestimmt) und kein Zusatzeingriff erforderlich

- im Rahmen eines Zusatzeingriffs kein Stein nachweisbar:
  - keine postoperative Steinfreiheit (computertomographisch oder mittels anderer postoperativer Diagnostik), Zusatzeingriff erforderlich, in diesem aber kein Steinnachweis
  - eine postoperative Steinfreiheit (computertomographisch oder mittels anderer postoperativer Diagnostik), Zusatzeingriff trotzdem erfolgt, in diesem aber kein Steinnachweis

Da in der Literatur teilweise Steine  $\leq 4$  mm als steinfrei angesehen werden, wurde in dieser Arbeit zusätzlich die einstufige SFR (mit Steinen  $\leq 4$  mm) bestimmt. Dazu wurden Fälle mit Reststeinen  $\leq 4$  mm und ohne Zusatzeingriff zusätzlich als steinfrei gewertet.

Steinfrei bei Entlassung wurden in dieser Arbeit alle Fälle definiert, welche direkt oder nach einem Zusatzeingriff steinfrei waren und welche Reststeine  $\leq 4$  mm ohne Zusatzeingriff aufwiesen. Man ging bei der SFR bei Entlassung davon aus, dass ein PCNL-Eingriff mit zusätzlicher Intervention nach dieser steinfrei war. Fälle, welche postoperativ noch Restfragmente  $> 4$  mm aufwiesen und kein Zusatzeingriff erfolgt war, wurden bei Entlassung nicht als steinfrei gewertet.

### 2.3.5 Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente

Diese Analyse wurde durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Vorhandensein postoperativer Restfragmente zu untersuchen.

Die postoperative Steinfreiheit wurde in dieser Analyse unabhängig der Zusatzeingriffe und deren Resultate, wie folgt definiert:

- Steinfreiheit mittels postoperativer Diagnostik (computertomographisch oder mittels anderer Diagnostik) nachgewiesen (Steine  $\leq 4$  mm wurden als Restfragmente gewertet)
- Falls postoperativ keine zusätzliche Diagnostik erfolgte, wurde die Steinfreiheit anhand der intraoperativen Diagnostik definiert

Folgende Faktoren wurden untersucht:

Klinische Parameter:

- Geschlecht: männlich bzw. weiblich
- BMI:  $< 30$  bzw.  $\geq 30$  (in  $\text{kg/m}^2$ )
- ASA-Klasse:  $< 3$  bzw.  $\geq 3$
- GSS:  $< \text{II}$  bzw.  $\geq \text{II}$
- Maximale Steingröße:  $< 15$  bzw.  $\geq 15$  (Durchmesser in mm)

Intraoperative Parameter:

- OP-Dauer:  $< 110$  bzw.  $\geq 110$  (in min)
- OP-Art / Schaftgröße: Mini-PCNL bzw. Konventionelle PCNL

Ordinal- bzw. verhältnisskalierte Merkmale wurden erneut in nominalskalierte Merkmale umgewandelt, um zusätzliche Auswertungen zu ermöglichen.

### 2.3.6 Statistische Tests

Die statistische Analyse wurde mit JMP®, Version°16 (SAS Institute Inc., Cary, NC) durchgeführt. Bei kontinuierlichen Variablen wurden der Mittelwert und die Standardabweichung (SD), bei kategorischen Variablen die absolute und relative prozentuale Häufigkeit angegeben. Ein p-Wert  $< 0,05$  wurde als statistisch signifikant angesehen.

Der McNemar-Test wurde für den Vergleich der nominalskalierten Variablen der intraoperativen und computertomographischen Beurteilung der Steinfreiheit angewandt. Das Cohens Kappa wurde als Maß der Übereinstimmung verwendet. Zusätzlich wurden allgemeine Werte der Sensitivität, der Spezifität und der Vorhersagewerte bestimmt. Wenn man die CT in diesem Vergleich als Goldstandard ansieht, kann man eine Prävalenz zugrunde legen.

Für die Analyse von Einflussfaktoren für eine Diskordanz zwischen der intraoperativen und der computertomographischen Beurteilung der Steinfreiheit wurde ein Gruppenvergleich durchgeführt. Es wurden verschiedene Faktoren mit dem Pearson-Chi-Quadrat-Test zwischen Fällen mit konkordantem und diskordantem Steinfreiheitsstatus (Übereinstimmung / Abweichung zwischen der

intraoperativen und der computertomographischen Beurteilung der Steinfreiheit) verglichen.

Für den Vergleich der computertomographischen Signifikanz der Restfragmente mit den Resultaten der Zusatzeingriffe, wurden allgemeine Werte der Sensitivität, der Spezifität und der Vorhersagewerte bestimmt. Das Resultat der Zusatzeingriffe wurde als Grundlage für die Berechnung der statistischen Werte verwendet.

Für die einstufige SFR, die einstufige SFR (mit Steinen  $\leq 4$  mm) und für die SFR bei Entlassung wurden die prozentualen Häufigkeiten angegeben.

Es wurde eine univariable und eine multivariable logistische Regressionsanalyse durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Vorhandensein postoperativer Restfragmente zu untersuchen. Sowohl in der univariablen als auch in der multivariablen Analyse wurde eine Odds Ratio (OR) als Risikomaß und dessen 95 %-Konfidenzintervall (95 % CI) verwendet.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Deskriptive Analyse

Für die deskriptive Analyse wurden insgesamt 610 PCNL-Interventionen berücksichtigt, die zwischen Februar 2009 und September 2020 in Bauchlagerung durchgeführt wurden.

##### 3.1.1 Präoperative Daten

Die Patienten waren im Durchschnitt 52,82 Jahre alt, zu 61,97 % männlich und zu 38,03 % weiblich. Der durchschnittliche BMI betrug 28,18 kg/m<sup>2</sup>. Der PCNL-Eingriff erfolgte in 41,64 % (n = 254) auf der rechten Seite und in 58,03 % (n = 354) auf der linken Seite. In zwei Fällen (0,33 %) erfolgte eine bilaterale PCNL während eines Eingriffs. Am häufigsten zeigte sich initial ein einzelner Stein (n = 311, 50,98 %). In 16,72 % lagen initial  $\geq 5$  Steine vor. Die Mehrheit der Steine war im Nierenbecken lokalisiert (n = 375, 61,48 %), gefolgt von der unteren Kelchgruppe (n = 330, 54,10 %). Die maximale initiale Steingröße wurde abhängig von der jeweiligen Steinlokalisierung erhoben. Der Ausgangsstein wies mit 28,06 mm den größten Durchmesser auf. Der GSS erreichte in dieser Arbeit am häufigsten Grad II (n = 234, 38,36 %). Eine vorherige Steintherapie wurde in 456 Fällen (74,75 %) angegeben. Mit 58,77 % war die DJ-Einlage die Häufigste. Im Rahmen der ASA-Klassifikation wurde die Mehrheit der Patienten (n = 352, 57,70 %) der Klasse II zugeordnet. 82,79 % der Patienten wiesen eine oder mehr Vorerkrankungen auf. In 264 Fällen erfolgte eine Angabe zum Nikotinabusus. Davon waren 43,56 % nikotinabhängig. In 165 Fällen erfolgte eine Angabe zum Alkoholabusus, wobei 15,76 % einen Alkoholmissbrauch aufwiesen. Die meisten Patienten (n = 550, 90,16 %) wiesen keine präoperativen Nierenerkrankungen auf. In 70 % waren die Urinkultur-Ergebnisse negativ. Weitere präoperative Patienten- und Steinmerkmale sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tab. 5: Präoperative Daten der Patientenkohorte und initiale Steinmerkmale

| Variablen  |                   |
|--|-------------------|
| Alter (in Jahren), Mittelwert $\pm$ SD                       | 52,82 $\pm$ 14,90 |
| Geschlecht (n = 610), n (%)                                  |                   |
| Männlich   | 378 (61,97)       |
| Weiblich   | 232 (38,03)       |
| Divers   | 0 (0)             |
| BMI (in kg/m <sup>2</sup> ), (n = 460), Mittelwert $\pm$ SD  | 28,18 $\pm$ 5,91  |
| Betroffene Seite (n = 610), n (%)                            |                   |
| Rechts   | 254 (41,64)       |
| Links  | 354 (58,03)       |
| Beidseits  | 2 (0,33)          |
| Anzahl der initialen Steine (n = 610), n (%)                 |                   |
| 1  | 311 (50,98)       |
| 2  | 102 (16,72)       |
| 3  | 59 (9,67)         |
| 4  | 26 (4,26)         |
| $\geq$ 5 (multiple)  | 102 (16,72)       |
| Keine Angabe   | 10 (1,64)         |
| Stein Lokalisation (n = 610), n (%)                          |                   |
| Obere Kelchgruppe  | 131 (21,48)       |
| Mittlere Kelchgruppe   | 119 (19,51)       |
| Untere Kelchgruppe   | 330 (54,10)       |
| Nierenbecken   | 375 (61,48)       |
| Ausgussstein   | 136 (22,30)       |
| Harnleiter   | 71 (11,64)        |
| Keine Angabe   | 9 (1,48)          |
| Maximale Steingröße (Durchmesser in mm), Mittelwert $\pm$ SD |                   |
| Obere Kelchgruppe (n = 72)                                   | 14,67 $\pm$ 12,68 |
| Mittlere Kelchgruppe (n = 71)                                | 12,86 $\pm$ 9,16  |
| Untere Kelchgruppe (n = 260)                                 | 13,04 $\pm$ 7,89  |
| Nierenbecken (n = 308)                                       | 18,80 $\pm$ 10,93 |
| Ausgussstein (n = 81)  | 28,06 $\pm$ 15,88 |
| Harnleiter (n = 50)  | 10,42 $\pm$ 7,99  |
| Keine Angabe (n = 5)   | 12,00 $\pm$ 7,31  |
| Guy's Stone Score (n = 610), n (%)                           |                   |
| Grad 0   | 1 (0,16)          |
| Grad I   | 187 (30,66)       |
| Grad II  | 234 (38,36)       |
| Grad III   | 170 (27,87)       |
| Grad IV  | 18 (2,95)         |
| Vorherige Steinbehandlung (n = 456), n (%)                   |                   |
| PCNL   | 159 (34,87)       |
| SWL  | 203 (44,52)       |
| URS  | 196 (42,98)       |

|   |              |
|---|--------------|
| Ureterolithotomie                                     | 1 (0,22)     |
| DJ-Katheter   | 268 (58,77)  |
| Nephrostomie  | 63 (13,82)   |
| Andere  | 56 (12,28)   |
| ASA-Klasse (n = 610), n (%)                           |              |
| Klasse I  | 130 (21,31)  |
| Klasse II   | 352 (57,70)  |
| Klasse III  | 117 (19,18)  |
| Klasse IV   | 11 (1,80)    |
| Vorerkrankungen (n = 505), n (%)                      |              |
| Diabetes mellitus                                     | 120 (23,76)  |
| Antikoagulation                                       | 81 (16,04)   |
| Kortisoneinnahme                                      | 21 (4,16)    |
| Morbus Crohn  | 20 (3,96)    |
| Kardiovaskulär  | 247 (48,91)  |
| Benigne Prostatahyperplasie                           | 18 (3,56)    |
| Arterielle Hypertonie                                 | 210 (41,58)  |
| Andere  | 451 (89,31)  |
| Noxenabusus n (%)                                     |              |
| Nikotinabusus (n = 264)                               | 115 (43,56)  |
| Alkoholabusus (n = 165)                               | 26 (15,76)   |
| Präoperative Nierenerkrankungen (n = 610), n (%)      |              |
| Hufeisenniere   | 7 (1,15)     |
| Sonstige  | 54 (8,85)    |
| Keine präoperative Nierenerkrankung                   | 550 (90,16)  |
| Urinkultur (n = 580), n (%)                           |              |
| positiv   | 174 (30)     |
| negativ   | 406 (70)     |
| Laborparameter präoperativ (n = 522), Mittelwert ± SD |              |
| Hämoglobin  | 14,05 ± 1,83 |
| Leukozyten  | 8,15 ± 2,58  |

### 3.1.2 Intraoperative Daten

Es wurden durchschnittlich 50,83 PCNL-Operationen in Bauchlagerung pro Jahr durchgeführt (vgl. Abb. 6). Eine Antibiotikaprophylaxe erfolgte in 95,08 % (n = 580). Es wurde jedoch in nur 193 Fällen (33,28 %) die Dauer der Antibiotikaprophylaxe angegeben. Die durchschnittliche Dauer der Antibiotikaprophylaxe betrug  $3,46 \pm 2,33$  Tage. Ein DJ-Katheter war präoperativ überwiegend nicht einliegend (n = 404, 66,23 %). Bei der Mehrheit der Eingriffe (n = 572, 93,77 %) erhielten die Patienten einen operativen Zugang mittels Metallschaft. In 90,82 % (n = 554) und 87,54 % (n = 534) erfolgte die Punktion unter ultraschall- und röntgengestützter Bildgebung.

Eine Punktion war in 42 Fällen (6,89 %) nicht notwendig, da der Zugang über eine bereits vorliegende PCN erfolgte. Bei der Mehrzahl der Fälle ( $n = 330$ , 57,69 %) wurde eine Standard-PCNL mit einer Schaftgröße von 24 bis 32 Ch durchgeführt. Die Steine wurden hauptsächlich mittels Laser ( $n = 272$ , 44,59 %) und Ultraschall ( $n = 239$ , 39,18 %) desintegriert und mittels Zange ( $n = 460$ , 75,41 %) extrahiert. Die durchschnittliche OP-Dauer betrug  $115,93 \pm 43,57$  Minuten und die durchschnittliche Durchleuchtungszeit  $5,90 \pm 3,74$  Minuten. Das durchschnittliche Dosis-Flächen-Produkt betrug  $1021,10 \pm 1490,69 \mu\text{Gym}^2$ . Intraoperativ zeigte sich in fünf Fällen (0,82 %) eine Steinmigration. Eine intraoperative Blutung wurde in 45 von 155 Operationen (29,03 %) und eine Perforation in 23 von 155 Operationen (14,84 %) beobachtet. Die Beurteilung der Steinfreiheit durch den Operateur erfolgte hauptsächlich endoskopisch ( $n = 482$ , 79,02 %) und radiologisch ( $n = 456$ , 74,75 %). Bei 445 Eingriffen (72,95 %) wurde laut Operateur eine intraoperative Steinfreiheit erreicht. In zwölf Fällen (1,97 %) konnte der Operateur dazu keine eindeutige Aussage treffen. Bei 153 Eingriffen (25,08 %), die laut Operateur als nicht steinfrei bewertet wurden, war in 118 Fällen (77,12 %) ein Zusatzeingriff erforderlich. Am häufigsten ( $n = 86$ , 72,88 %) wurde als Zusatzeingriff die PCNL-Methode gewählt. Eine genaue Aufschlüsselung der intraoperativen Ergebnisse ist in Tabelle 6 dargestellt.

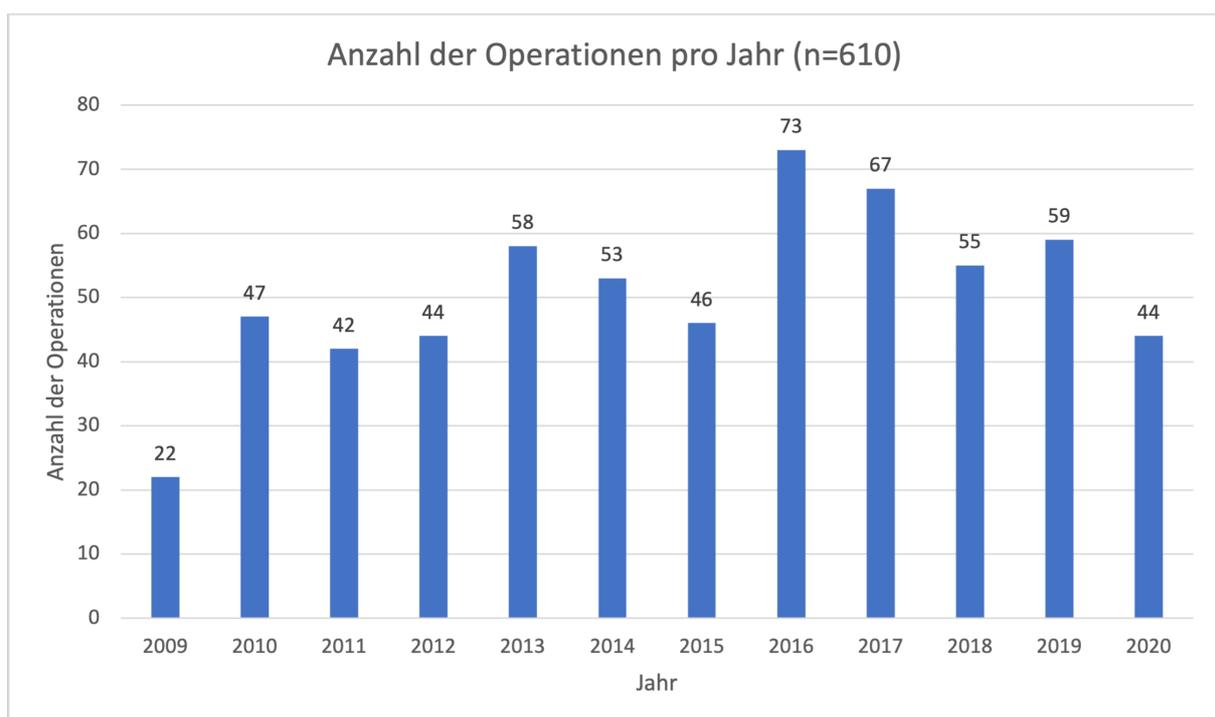


Abb. 6: PCNL-Operationen in Bauchlagerung pro Jahr

Tab. 6: Intraoperative Daten der Patientenkohorte

| Variablen  |                          |
|--|--------------------------|
| Antibiotikaprophylaxe (n = 610), n (%)   |                          |
| Ja   | 580 (95,08)              |
| Nein   | 30 (4,92)                |
| Dauer Antibiotikaprophylaxe (in Tagen), (n = 193),<br>Mittelwert $\pm$ SD        | 3,46 $\pm$ 2,33          |
| DJ-Katheter präoperativ einliegend (n = 610), n (%)                              |                          |
| Ja   | 206 (33,77)              |
| Nein   | 404 (66,23)              |
| OP-Zugang (n = 610), n (%)   |                          |
| Ballondilatation   | 0 (0)                    |
| Metallschaft   | 572 (93,77)              |
| Plastik / Amplatzschaft  | 79 (12,95)               |
| Keine Angabe   | 33 (5,41)                |
| Punktion (n = 610), n (%)  |                          |
| Röntgen  | 534 (87,54)              |
| Sonographie  | 554 (90,82)              |
| Andere   | 9 (1,48)                 |
| Keine Angabe   | 10 (1,64)                |
| Keine Punktion, da PCN vorliegend  | 42 (6,89)                |
| Schaftgröße (in Ch), (n = 572), n (%)  |                          |
| Standard-PCNL (24 – 32 Ch)   | 330 (57,69)              |
| Mini-PCNL (14 – 22 Ch)   | 240 (41,96)              |
| Ultra-Mini PCNL (11 – 13 Ch)   | 1 (0,17)                 |
| Mikro-PCNL (4,8 – 11 Ch)   | 1 (0,17)                 |
| Fragmentation (n = 610), n (%)   |                          |
| Keine Fragmentation  | 129 (21,15)              |
| Laser  | 272 (44,59)              |
| Pneumatic  | 5 (0,82)                 |
| Ultraschall  | 239 (39,18)              |
| Andere   | 15 (2,46)                |
| Keine Angabe   | 4 (0,66)                 |
| Extraktion (n = 610), n (%)  |                          |
| Keine Extraktion   | 67 (10,98)               |
| Zange  | 460 (75,41)              |
| Dormiakörbchen   | 283 (46,39)              |
| Andere   | 50 (8,20)                |
| Keine Angabe   | 20 (3,28)                |
| OP-Dauer (in min), (n = 591), Mittelwert $\pm$ SD                                | 115,93 $\pm$ 43,57       |
| Durchleuchtungsdauer (in min), (n = 563), Mittelwert $\pm$<br>SD                 | 5,90 $\pm$ 3,74          |
| Dosis-Flächen-Produkt (in $\mu\text{Gym}^2$ ), (n = 575), Mittelwert $\pm$<br>SD | 1021,10 $\pm$<br>1490,69 |
| Intraoperative Steinmigration (n = 610), n (%)                                   |                          |
| Ja   | 5 (0,82)                 |

|   |             |
|---|-------------|
| Nein  | 605 (99,18) |
| Intraoperative Komplikationen (n = 155), n (%)                |             |
| Blutung   | 45 (29,03)  |
| Pyelonephrose   | 11 (7,10)   |
| Perforation   | 23 (14,84)  |
| Abbruch OP  | 91 (58,71)  |
| Konversion  | 0 (0)       |
| Anderes   | 69 (44,52)  |
| Operateur beurteilte Steinfreiheit; Methodik (n = 610), n (%) |             |
| endoskopisch  | 482 (79,02) |
| radiologisch  | 456 (74,75) |
| Keine Angabe  | 121 (19,84) |
| Operateur beurteilte Steinfreiheit (n = 610), n (%)           |             |
| Restfragmente   | 153 (25,08) |
| Keine Restfragmente   | 445 (72,95) |
| Unklar  | 12 (1,97)   |
| Zusatzeingriff erforderlich (n = 118), n (%)                  |             |
| PCNL  | 86 (72,88)  |
| URS   | 49 (41,53)  |
| Andere (SWL, Wait and see, CT-gesteuerte Punktion)            | 22 (18,64)  |
| Keine Angabe  | 5 (4,24)    |

### 3.1.3 Postoperative Daten

Die Patienten blieben postoperativ durchschnittlich  $4,61 \pm 3,46$  Tage im Krankenhaus. Postoperativ war eine Harnleiterschleife in 15,52 % (n = 86) einliegend und ein transurethraler Katheter in 98,50 % (n = 591). Die Mehrzahl der Patienten (n = 595, 97,54 %) hatte postoperativ eine PCN einliegend. Die am häufigsten verwendeten PCN-Schaftgrößen betragen 14 Ch (n = 242, 40,67 %) und 16 Ch (n = 284, 47,73 %). In 91,64 % der Fälle (n = 559) erfolgte eine Steinanalyse. Es bestanden 68,34 % (n = 382) der Steine aus Calciumoxalat und 48,30 % (n = 270) aus Calciumphosphat. Nach 484 Eingriffen (79,34 %) wurde eine postoperative diagnostische Bildgebung durchgeführt. Die NCCT kam dabei am häufigsten (n = 429, 88,64 %) zum Einsatz. In 126 Fällen erfolgte keine postoperative Bildgebung. Gründe hierfür waren eine angeordnete, aber nicht vorliegende oder aufgrund von Komplikationen nicht durchgeführte CT-Bildgebung sowie eine CT-Bildgebung nach drei bis vier Wochen postoperativ. Weitere Gründe waren ein Zusatzeingriff, welcher direkt vom Operateur angefordert wurde, z. B. bei vorzeitigem

Abbruch oder eine vom Operateur diagnostizierte Steinfreiheit ohne notwendige CT-Bildgebung, z. B. nach einer Steinentfernung im Ganzen oder bei rezidivierenden Steinbildnern. Es wurden in 248 Fällen (40,66 %) im Rahmen der postoperativen NCCT und in 100 Fällen (16,39 %) durch andere postoperative Diagnostik Restfragmente entdeckt. 40,52 % (n = 141) dieser Restfragmente waren durchschnittlich > 4 mm und damit signifikant, während 32,76 % (n = 114) durchschnittlich ≤ 4 mm und damit nicht signifikant waren. Die meisten (n = 142, 40,80 %) Restfragmente befanden sich in der unteren Kelchgruppe. Eine erneute Intervention war in 40,95 % der Fälle (n = 249) erforderlich. Die PCNL (n = 142, 57,03 %) und die URS (n = 145, 58,23 %) waren im Rahmen eines Zusatzeingriffs die häufigsten OP-Methoden. In 203 Fällen (81,53 %) war der Zusatzeingriff notwendig, da relevante Restfragmente entdeckt wurden. In 22 Fällen (8,84 %) erwies sich dieser als zuviel, da keine Restfragmente nachgewiesen werden konnten. Nach 213 Eingriffen (34,92 %) traten postoperativ Komplikationen auf. In acht Fällen (3,76 %) wurden Bluttransfusionen verabreicht. Laut der Clavien-Dindo-Klassifikation wurde die Mehrzahl (n = 382, 62,62 %) der Komplikationen mit Grad null definiert. Größere Komplikationen (Clavien-Dindo-Klassifikation > Grad III) traten in zwölf Fällen auf. Eine genaue Aufschlüsselung der postoperativen Ergebnisse ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tab. 7: Postoperative Daten der Patientenkohorte

| Variablen  |              |
|--|--------------|
| Postoperativer Stationärer Aufenthalt (in Tagen),<br>Mittelwert ± SD | 4,61 ± 3,46  |
| Laborparameter postoperativ (n = 560), Mittelwert ± SD               |              |
| Hämoglobin   | 12,68 ± 1,78 |
| Leukozyten   | 9,83 ± 3,39  |
| Harnleiterschiene postoperativ einliegend (n = 554),<br>n (%)        |              |
| Ja   | 86 (15,52)   |
| Nein   | 468 (84,48)  |
| Transurethraler Katheter postoperativ einliegend<br>(n = 600), n (%) |              |
| Ja   | 591 (98,50)  |
| Nein   | 9 (1,50)     |
| PCN postoperativ einliegend (n = 610), n (%)                         |              |
| Ja   | 595 (97,54)  |
| Nein   | 15 (2,46)    |
| PCN-Größe (in Ch), (n = 595), n (%)                                  |              |

|  |             |
|--|-------------|
| 12 Ch  | 31 (5,21)   |
| 14 Ch  | 242 (40,67) |
| 16 Ch  | 284 (47,73) |
| Andere (2, 8, 18, 20, 22 Ch)                                     | 10 (1,68)   |
| Keine Angabe   | 28 (4,71)   |
| Steinanalyse (n = 559), n (%)                                    |             |
| Calciumoxalatsteine  | 382 (68,34) |
| Calciumoxalatmonohydrat  | 322 (84,29) |
| Calciumoxalatdihydrat  | 289 (75,65) |
| Calciumphosphatsteine  | 270 (48,30) |
| Harnsäurehaltige Steine  | 87 (15,56)  |
| Infektsteine   | 13 (2,33)   |
| Zystinsteine   | 18 (3,22)   |
| Andere   | 1 (0,18)    |
| Diagnostik postoperativ (n = 484), n (%)                         |             |
| NCCT   | 429 (88,64) |
| Intraoperatives Dyna-CT  | 1 (0,21)    |
| Sonographie  | 1 (0,21)    |
| Röntgen  | 76 (15,70)  |
| Andere (Nierenzintigraphie)                                      | 2 (0,41)    |
| Postoperative Restfragmente (n = 610), n (%)                     |             |
| Restfragmente (mittels NCCT)                                     | 248 (40,66) |
| Keine Restfragmente (mittels NCCT / Dyna-CT)                     | 182 (29,84) |
| Restfragmente  | 100 (16,39) |
| Keine Restfragmente  | 80 (13,11)  |
| Lokalisation der Restfragmente (n = 348), n (%)                  |             |
| Obere Kelchgruppe  | 56 (16,09)  |
| Mittlere Kelchgruppe   | 85 (24,43)  |
| Untere Kelchgruppe   | 142 (40,80) |
| Nierenbecken   | 107 (30,75) |
| Ausgussstein   | 18 (5,17)   |
| Andere   | 71 (20,40)  |
| Keine Angabe   | 30 (8,62)   |
| Größe der Restfragmente (Durchmesser in mm),<br>(n = 348), n (%) |             |
| Signifikante Restfragmente (> 4 mm)                              | 141 (40,52) |
| Nicht signifikante Restfragmente (≤ 4 mm)                        | 114 (32,76) |
| Keine Angabe   | 93 (26,72)  |
| Zweite Sitzung erforderlich (n = 608), n (%)                     |             |
| Ja   | 249 (40,95) |
| Nein   | 359 (59,05) |
| Zweite Sitzung erforderlich, Methodik (n = 249), n (%)           |             |
| PCNL   | 142 (57,03) |
| URS  | 145 (58,23) |
| Andere   | 117 (46,99) |
| Keine Angabe   | 3 (1,20)    |

|  |             |
|--|-------------|
| Zweite Sitzung, Resultat (n = 249), n (%)                                    |             |
| Restfragmente vorhanden  | 203 (81,53) |
| Kein Steinnachweis   | 22 (8,84)   |
| Keine Angabe   | 24 (9,64)   |
| Postoperative Komplikationen (n = 213), n (%)                                |             |
| Transfusion  | 8 (3,76)    |
| Fieber   | 32 (15,02)  |
| Infekt   | 26 (12,21)  |
| Nachblutung  | 15 (7,04)   |
| Sonstiges  | 198 (92,96) |
| Anzahl Transfusionen (n = 8), n (%)  |             |
| 2  | 6 (75,00)   |
| 5  | 1 (12,50)   |
| 6  | 1 (12,50)   |
| Postoperative Komplikationen (Clavien Dindo Classification) (n = 610), n (%) |             |
| Grad 0   | 382 (62,62) |
| Grad I   | 75 (12,30)  |
| Grad II  | 51 (8,36)   |
| Grad IIIa  | 59 (9,67)   |
| Grad IIIb  | 31 (5,08)   |
| Grad IVa   | 9 (1,48)    |
| Grad IVb   | 3 (0,49)    |
| Grad V   | 0 (0)       |

---

## 3.2 Spezifische Analyse

### 3.2.1 Vergleich intraoperative und computertomographische Beurteilung der Steinfreiheit

Die Beurteilung der Steinfreiheit durch den Operateur erfolgte in den 418 Fällen in 20 Fällen endoskopisch (4,78 %), in sechs Fällen radiologisch (1,44 %) und in 360 Fällen in kombinierter Form (86,12 %). In 32 Fällen (7,66 %) waren keine Angaben zum Vorgehen dokumentiert worden. Mittels postoperativer NCCT wurden häufiger Reststeine erkannt (n = 237) als durch den Operateur (n = 58) (vgl. Tab. 8).

Tab. 8: Vergleich der intraoperativen und computertomographischen Beurteilung der Steinfreiheit anhand von Restfragmenten (RF)

|       |          | RF Operateur |          | Total |
|-------|----------|--------------|----------|-------|
|       |          | RF           | Keine RF |       |
| RF CT | RF       | 57           | 180      | 237   |
|       | Keine RF | 1            | 180      | 181   |
|       | Total    | 58           | 360      | 418   |

Die postoperative NCCT-Bildgebung wurde als Kontrollgruppe benutzt. Es ergab sich eine Prävalenz von 56,7 % für Restfragmente. Es wurde der McNemar-Test für den Vergleich der intraoperativen Beurteilung der Steinfreiheit durch den Operateur gegenüber dem derzeitigen Goldstandard, der CT, durchgeführt. In 180 Fällen zeigte der CT-Befund Restfragmente, die vom Operateur nicht als solche erkannt wurden. In einem Fall erkannte der Operateur Restfragmente, die mittels der CT nicht entdeckt wurden. Diese Diskrepanz war im McNemar-Test signifikant ( $p < 0,0001$ ). Der Kappa-Index als Maß der Übereinstimmung betrug 0,2104. Die Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden war gering.

In 24,05 % der Fälle wurden Restfragmente, die mittels CT erkannt wurden, auch vom Operateur bemerkt (Sensitivität 24,05 %). In über 99 % der Fälle wurde eine Steinfreiheit, die mittels CT-Scan erfasst wurde, auch vom Operateur erkannt (Spezifität 99,45 %). Der positive Vorhersagewert der intraoperativen Beurteilung durch den Operateur betrug 98,28 % für das Vorhandensein von Restfragmenten. Der negative Vorhersagewert betrug 50 %. In der Hälfte der Fälle (n = 180), in denen durch den Chirurgen eine Steinfreiheit angenommen wurde, wurden mittels postoperativer CT Restfragmente entdeckt.

53,33 % der Fälle (n = 96), in denen vom Chirurgen fälschlicherweise eine Steinfreiheit angenommen wurde (n = 180), wiesen in der CT-Bildgebung eine Steingröße  $\leq 4$  mm auf. In etwa einem Drittel der Fälle (n = 70, 38,89 %) wurden mittels CT Restfragmente mit einer Größe  $> 4$  mm erkannt. In 14 Fällen (7,78 %) erfolgte keine Angabe bezüglich der Steingröße.

### 3.2.2 Einflussfaktoren einer diskordanten Beurteilung der Steinfreiheit

Die vorliegende Statistik zeigt, dass Fälle mit diskordantem Steinfreiheitsstatus eine signifikant höhere Rate des GSS  $\geq$  II (75,1 % gegenüber 62,5 %) hatten. Patienten mit diskordantem Steinfreiheitsstatus hatten zudem eine signifikant längere postoperative Krankenhausverweildauer ( $> 3$  Tage) als Patienten mit konkordantem Steinfreiheitsstatus (55,3 % gegenüber 43,0 %). In Bezug auf Geschlecht, BMI, ASA-Klasse, OP-Dauer, Schaftgröße und Steingröße zeigte sich keine Signifikanz (vgl. Tab. 9).

Tab. 9: Übereinstimmung der Steinfreiheit zwischen Operateur und CT-Bildgebung

| Einflussvariable                          | Gesamtkohorte<br>n = 418 | Konkordant<br>n = 237 | Diskordant<br>n = 181 | p Wert       |
|---|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| Geschlecht, n (%)                         |                          |                       |                       | 0,143        |
| Männlich                                  | 270 (64,6)               | 146 (61,6)            | 124 (68,5)            |              |
| Weiblich                                  | 148 (35,4)               | 91 (38,4)             | 57 (31,5)             |              |
| BMI (in kg/m <sup>2</sup> ), n (%)        |                          |                       |                       | 0,640        |
| $< 30$ kg/m <sup>2</sup>                  | 243 (68,1)               | 130 (67,0)            | 113 (69,3)            |              |
| $\geq 30$ kg/m <sup>2</sup>               | 114 (31,9)               | 64 (33,0)             | 50 (30,7)             |              |
| ASA-Klasse, n (%)                         |                          |                       |                       | 0,911        |
| $< 3$                                     | 329 (78,7)               | 187 (78,9)            | 142 (78,5)            |              |
| $\geq 3$                                  | 89 (21,3)                | 50 (21,1)             | 39 (21,5)             |              |
| GSS, n (%)                                |                          |                       |                       | 0,052        |
| I   | 134 (32,1)               | 89 (37,5)             | 45 (24,9)             |              |
| II  | 173 (41,4)               | 89 (37,5)             | 84 (46,4)             |              |
| III                                       | 101 (24,2)               | 54 (22,8)             | 47 (26,0)             |              |
| IV  | 10 (2,4)                 | 5 (2,1)               | 5 (2,8)               |              |
| GSS, n (%)                                |                          |                       |                       | <b>0,006</b> |
| $< II$                                    | 134 (32,1)               | 89 (37,5)             | 45 (24,9)             |              |
| $\geq II$                                 | 284 (67,9)               | 148 (62,5)            | 136 (75,1)            |              |
| Maximale Steingröße (in mm), n (%)        |                          |                       |                       | 0,154        |
| $< 15$ mm                                 | 157 (41,6)               | 93 (44,9)             | 64 (37,7)             |              |
| $\geq 15$ mm                              | 220 (58,4)               | 114 (55,1)            | 106 (62,3)            |              |
| OP-Dauer (in min), n (%)                  |                          |                       |                       | 0,595        |
| $< 110$ min                               | 204 (50,4)               | 118 (51,5)            | 86 (48,9)             |              |
| $\geq 110$ min                            | 201 (49,6)               | 111 (48,5)            | 90 (51,1)             |              |
| OP-Art / Schaftgröße, n (%)               |                          |                       |                       | 0,510        |
| Mini-PCNL                                 | 185 (44,6)               | 101 (43,2)            | 84 (46,4)             |              |
| konventionelle PCNL                       | 230 (55,4)               | 133 (56,8)            | 97 (53,6)             |              |
| Krankenhausverweildauer (in Tagen), n (%) |                          |                       |                       | <b>0,013</b> |
| $\leq 3$ Tage                             | 216 (51,7)               | 135 (57,0)            | 81 (44,8)             |              |
| $> 3$ Tage                                | 202 (48,3)               | 102 (43,0)            | 100 (55,3)            |              |

### 3.2.3 Vergleich computertomographischer Signifikanz der Restfragmente mit Resultaten der Zusatzeingriffe

Nach 429 PCNL-Operationen (70,33 %) wurde eine postoperative NCCT durchgeführt. In 248 Fällen (57,81 %) zeigten sich in der CT-Bildgebung noch Restfragmente unterschiedlicher Signifikanz ( $\leq 4$  mm /  $> 4$  mm) oder fehlender Größenangabe (vgl. Abb. 7).

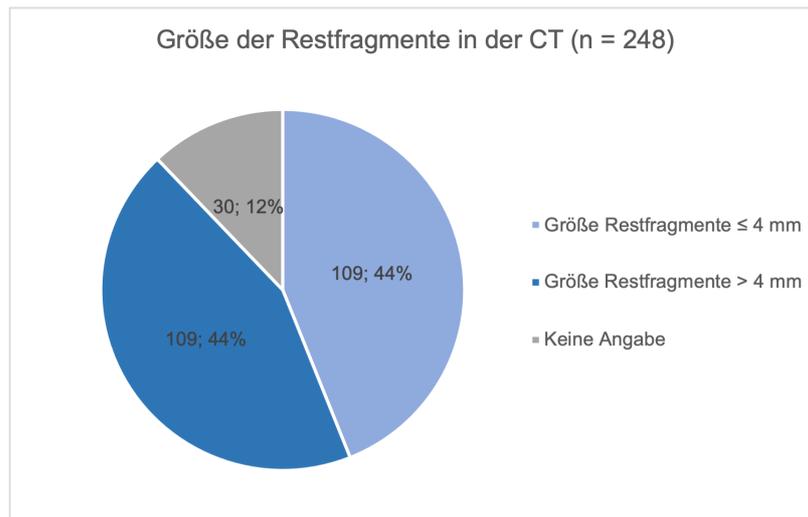


Abb. 7: Größe der computertomographischen Restfragmente

Bei computertomographischen Restfragmenten  $\leq 4$  mm (n = 109, 43,95 %) wurde in 40 Fällen (36,70 %) ein Zusatzeingriff durchgeführt. Dabei konnten in zehn Fällen (25 %) keine Restfragmente gefunden werden (vgl. Abb. 8). Bei computertomographischen Restfragmenten  $> 4$  mm (n = 109, 43,95 %) wurde in 89 Fällen (81,65 %) ein Zusatzeingriff durchgeführt. Hierbei wurden in acht Fällen (9 %) keine Restfragmente gefunden (vgl. Abb. 9).

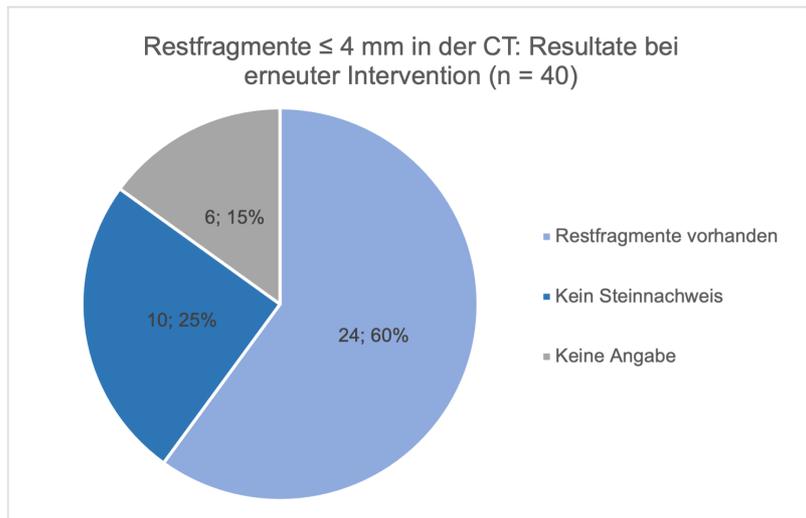


Abb. 8: Resultate erneute Intervention für Restfragmente  $\leq 4$  mm in der CT-Bildgebung

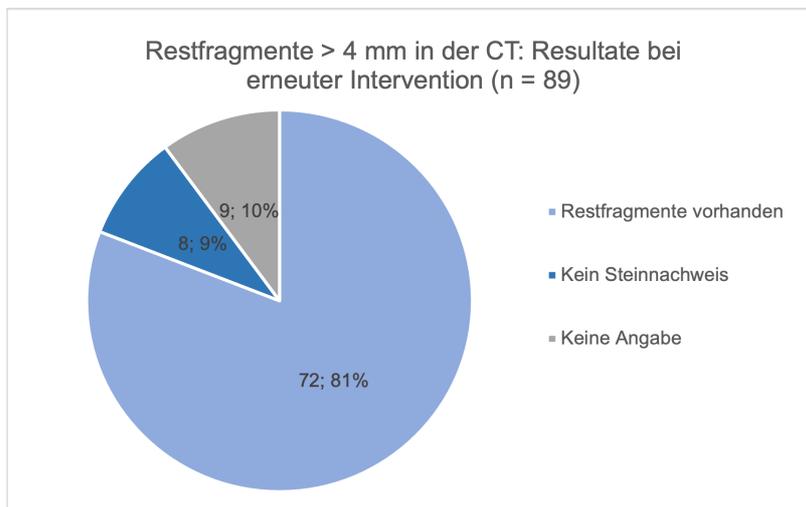


Abb. 9: Resultate erneute Intervention für Restfragmente  $> 4$  mm in der CT-Bildgebung

In 24 Fällen, in denen im Zusatzeingriff noch signifikante Restfragmente gefunden wurden, wurden mittels CT nicht signifikante Restfragmente ( $\leq 4$  mm) entdeckt. In acht Fällen wurden mittels CT signifikante Restfragmente gefunden, die im Rahmen eines Zusatzeingriffs nicht erkannt wurden (vgl. Tab. 10).

Tab. 10: Vergleich der computertomographischen Signifikanz der Restfragmente (RF) mit den Resultaten der Zusatzeingriffe

|       |                      | RF Zusatzeingriff |          |       |
|-------|----------------------|-------------------|----------|-------|
|       |                      | RF (> 4 mm)       | Keine RF | Total |
| RF CT | RF (> 4 mm)          | 72                | 8        | 80    |
|       | Keine RF<br>(≤ 4 mm) | 24                | 10       | 34    |
|       | Total                | 96                | 18       | 114   |
|       |                      |                   |          |       |

Das Resultat des Zusatzeingriffs wurde als Kontrollgruppe benutzt. In 75 % der Fälle wurden signifikante Restfragmente, die intraoperativ erkannt wurden, auch mittels CT beschrieben (Sensitivität 75 %). Für die CT ergab sich eine Spezifität von 55,56 %. Der positive Vorhersagewert der CT betrug 90 % und der negative Vorhersagewert 29,41 %.

#### 3.2.4 Einstufige Steinfreiheitsrate und Steinfreiheitsrate bei Entlassung

Die einstufige SFR betrug 45,57 % (n = 278). Davon konnte in 22 Fällen (3,61 %) im Rahmen eines Zusatzeingriffs kein Stein nachgewiesen werden.

Einschließlich der Restfragmente ≤ 4 mm ohne Zusatzeingriff (n = 72, 11,80 %) ergab dies eine einstufige SFR (mit Steinen ≤ 4 mm) von 57,37 %.

In 23 Fällen wurde keine Steinfreiheit bei Entlassung erreicht (3,77 %). Die SFR bei Entlassung betrug demnach 96,23 % (n = 587).

#### 3.2.5 Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente

Die univariable logistische Regressionsanalyse zeigte, dass Patienten mit einer ASA-Klasse ≥ 3 (OR 1,646, 95 % CI 1,094 – 2,476), einer OP-Dauer ≥ 110 min (OR 2,232, 95 % CI 1,608 – 3,097), einem konventionellen PCNL-Eingriff (OR 1,665, 95 % CI 1,190 – 2,328), einem GSS ≥ II (OR 3,569, 95 % CI 2,488 – 5,121) sowie einer initialen maximalen Steingröße ≥ 15 mm (OR 1,760, 95 % CI 1,241 – 2,496) eine signifikant höhere Rate an postoperativen Restfragmenten aufwiesen. Für das Geschlecht und den BMI konnten im Rahmen der univariablen logistischen Regressionsanalyse kein Einfluss auf die postoperative Restfragmentrate gezeigt werden. Die multivariable logistische Regressionsanalyse ergab, dass eine OP-Dauer ≥ 110 min (OR 1,993, 95 % CI 1,367 – 2,905), ein GSS ≥ II (OR 2,825, 95 % CI 1,883 – 4,238) und eine initiale maximale Steingröße ≥ 15 mm (OR 1,733, 95 %

CI 1,150 – 2,612) signifikante Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente waren (vgl. Tab. 11).

Tab. 11: Univariable und Multivariable Analyse von möglichen Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente

| Einflussvariable     | Richtung und Einheit                   | Univariable logistische Regressionen |               |                   | Multivariable logistische Regressionen |               |                   |
|----------------------|--|--------------------------------------|---------------|-------------------|--|---------------|-------------------|
|                      |  | OR                                   | 95 % CI       | p Wert            | OR                                     | 95 % CI       | p Wert            |
| Geschlecht           | männlich bzw. weiblich                 | 0,901                                | 0,647 – 1,255 | 0,539             |  |               |                   |
| BMI                  | ≥ 30 bzw. < 30 (in kg/m <sup>2</sup> ) | 1,007                                | 0,675 – 1,501 | 0,975             |  |               |                   |
| ASA-Klasse           | ≥ 3 bzw. < 3                           | 1,646                                | 1,094 – 2,476 | <b>0,017</b>      | 1,285                                  | 0,791 – 2,085 | 0,311             |
| GSS                  | ≥ II bzw. < II                         | 3,569                                | 2,488 – 5,121 | <b>&lt; 0,001</b> | 2,825                                  | 1,883 – 4,238 | <b>&lt; 0,001</b> |
| Maximale Steingröße  | ≥ 15 bzw. < 15 (in mm)                 | 1,760                                | 1,241 – 2,496 | <b>0,002</b>      | 1,733                                  | 1,150 – 2,612 | <b>0,009</b>      |
| OP-Dauer             | ≥ 110 bzw. < 110 (in min)              | 2,232                                | 1,608 – 3,097 | <b>&lt; 0,001</b> | 1,993                                  | 1,367 – 2,905 | <b>&lt; 0,001</b> |
| OP-Art / Schaftgröße | konventionelle bzw. Mini-PCNL          | 1,665                                | 1,190 – 2,328 | <b>0,003</b>      | 0,880                                  | 0,748 – 1,337 | 0,550             |

## 4 DISKUSSION

Für diese Arbeit wurden Daten von Patienten im Alter von  $\geq 16$  Jahren, die sich von Februar 2009 bis September 2020 einer PCNL in Bauchlage in der Klinik für Urologie und Urochirurgie des Universitätsklinikums Mannheim unterzogen, retrospektiv analysiert. Die intraoperative Beurteilung der Steinfreiheit nach PCNL durch den Operateur wurde mit der postoperativen NCCT verglichen. Es wurden Faktoren, die die Diskordanz der beiden Methoden möglicherweise beeinflussen, analysiert. Des Weiteren wurde die Signifikanz der computertomographisch diagnostizierten Restfragmente mit den Resultaten der Zusatzeingriffe verglichen und die postoperativen SFR sowie deren Einflussfaktoren ermittelt.

### 4.1 Vergleich intraoperative und computertomographische Beurteilung der Steinfreiheit

Die PCNL ist das minimal-invasive Verfahren der Wahl bei Nierensteinen  $> 20$  mm und bei Unterkelchsteinen bereits ab  $10$  mm<sup>11, 14</sup>. Zur Beurteilung der Steinfreiheit sollte, neben der NCCT nach der ersten Intervention<sup>68</sup>, die Perspektive des Chirurgen berücksichtigt werden. Das Hauptziel der Operation ist es, den steinfreien Status zu erreichen<sup>65</sup>. Der PCNL-Eingriff ist im Idealfall erst dann vollendet, wenn durch den Chirurgen bestätigt wird, dass keine Steine in situ verblieben sind<sup>79</sup>. In dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit die Beurteilung der Steinfreiheit durch den Chirurgen intraoperativ mit der postoperativen NCCT übereinstimmte. Ziel war es, herauszufinden, ob eine postoperative NCCT notwendig ist oder ob die Beurteilung durch den Operateur ausreichte und somit eine Reduzierung der postoperativen Strahlenbelastung erreicht werden kann<sup>69</sup>.

Für das Vorliegen von Restfragmenten ergab sich in dieser Arbeit eine Sensitivität von  $24,05$  %. Mit einer Spezifität von über  $99$  % wurde eine Steinfreiheit vom Operateur und mittels CT-Scan erkannt. Die Beurteilung durch den Operateur in dieser Untersuchung erwies sich somit als äußerst ungenau. Vorhandene Restfragmente wurden nur in  $24,05$  % der Fälle als solche erkannt. Erkannte der Operateur jedoch das Vorhandensein von Restfragmenten, so lag er mit dieser Einschätzung häufig richtig. Der positive prädiktive Wert (PPV) lag entsprechend bei  $98,28$  %. Gleichzeitig zeigte sich jedoch ein negativer prädiktiver Wert (NPV) von  $50$  % und somit eine hohe Falsch-Negativ-Rate.

Eine von Harraz et al. im Jahr 2017 durchgeführte Studie untersuchte ebenfalls die Genauigkeit der intraoperativen Beurteilung des Chirurgen über das Vorliegen von Restfragmenten nach einer PCNL. Die Einschätzung des Chirurgen wurde auch hier mit der postoperativen NCCT vor Entlassung verglichen. Alle Restfragmente, unabhängig von ihrer Größe, wurden als solche berücksichtigt. Es wurden die Daten von 306 Patienten, die sich einer PCNL unterzogen, analysiert. Die Sensitivität der intraoperativen Beurteilung durch den Operateur lag bei 49,6 %, der PPV betrug 92,8 % (Spezifität: 97,1 % NPV: 72 %).<sup>79</sup> In einer Studie von Nevo et al. wurden zusätzlich Restfragmente < 4 mm sowohl vom Operateur als auch von der postoperativen Bildgebung (KUB / CT) als steinfrei bewertet. Das Fehlen von signifikanten Restfragmenten wurde vor der Entlassung, in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Steins, durch eine KUB oder durch eine CT beurteilt. Die Daten von 312 Patienten, die sich einer PCNL unterzogen, wurden analysiert. Der NPV der Einschätzung des Chirurgen für das Fehlen von signifikanten Restfragmenten, verglichen mit einer postoperativen CT, betrug 100 % (Sensitivität: 100 %, Spezifität: 12,5 %, PPV: 75 %).<sup>80</sup>

Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt auch diese Arbeit mit einem PPV von 98,28 %. Erkannte der Chirurg Restfragmente, war dieser Befund zuverlässig und auf eine zusätzliche NCCT hätte verzichtet werden können.

Der in der Studie von Harraz et al. ermittelte NPV betrug 72 %<sup>79</sup>. In der Studie von Nevo et al. betrug der PPV für das Fehlen von signifikanten Restfragmenten 75 %. In etwa einem Fünftel der PCNL-Fälle, bei denen der Chirurg davon ausging, dass ein steinfreier Status erreicht worden war, wurden durch die postoperative Bildgebung signifikante Reststeine entdeckt.<sup>80</sup> In einer weiteren Studie aus dem Jahr 2022 wurde die Übereinstimmungsrate zwischen dem intraoperativen steinfreien Status und dem CT-basierten steinfreien Status ermittelt. Die Ergebnisse der Studie sind jedoch nur bedingt mit den Ergebnissen dieser Arbeit vergleichbar, da Vakuum-unterstützte PCNL-Eingriffe in Rückenlage erfolgten. Die postoperative NCCT-Bildgebung erfolgte nach drei Monaten. Die Steinfreiheit wurde als die Abwesenheit von Restfragmenten definiert. Nachdem Patienten mit Nieren- und Skelettanomalien sowie geplante stufenweise Eingriffe bei großer Steinlast ausgeschlossen wurden, wurde eine Kohorte von 235 Patienten für die statistische Analyse berücksichtigt. Der intraoperative steinfreie Status und der CT-basierte steinfreie Status lagen bei 88,5 % und 65,5 %, wobei es in 54 Fällen (23 %) zu einer nicht übereinstimmenden

Bewertung des steinfreien Status zwischen Chirurgen und CT-Bildgebung kam. Der Chirurg konnte den steinfreien Status in 77 % der Fälle nach Vakuum-unterstützter PCNL zuverlässig beurteilen. Bei einem von fünf Patienten wurde intraoperativ eine Steinfreiheit angegeben, die durch postoperative Bildgebung widerlegt wurde.<sup>81</sup> Die Beurteilung des Chirurgen der fehlenden oder nicht signifikanten Restfragmente war ungenau.

Unsere Ergebnisse stützen die hohe Falsch-Negativ-Rate und den niedrigen NPV, wobei dieser in dieser Arbeit mit 50 % nochmals niedriger ausfiel als in den vorher beschriebenen Untersuchungen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass in dieser Arbeit eine größere Patientenkohorte (n = 418) für die statistische Analyse verwendet wurde. Außerdem wurden Patienten mit Nierenanomalien und initial großen Steinen miteingeschlossen sowie Steine unabhängig ihrer Größe als Restfragmente definiert. Zudem muss beachtet werden, dass im Rahmen der frühen postoperativen Bildgebung falsch-positive CT-Befunde, z. B. durch Steinstaub verursacht, möglich sind, welche den NPV beeinflussen<sup>82</sup>. Erfolgt die postoperative CT-Bildgebung erst nach drei Monaten, wie bei Jannello et al., kann der NPV durch Spontanabgänge oder Größenzunahme der Restfragmente ebenfalls beeinflusst werden.

Es kann festgehalten werden, dass, wenn der Chirurg nach einer PCNL Restfragmente erkannte, dieser Befund zuverlässig war, aber eine postoperative Bildgebung weiterhin notwendig ist, um die Abwesenheit von Restfragmenten zu bestätigen bzw. Restfragmente nicht zu übersehen. Übersehene Restfragmente können das Risiko künftiger steinbedingter Ereignisse wie Nierenkoliken, Harnwegsinfektionen oder Rezidive sowie die Notwendigkeit eines Krankenhausaufenthalts und einer damit einhergehenden Operation erhöhen.<sup>65, 83, 84</sup>

Eine Erhöhung des NPV konnte in dieser Arbeit erreicht werden, indem die computertomographisch diagnostizierten Steine  $\leq 4$  mm (n = 96) zusätzlich als steinfrei gewertet wurden (n = 276, NPV 76,67 %). Die intraoperative Einschätzung überbewertet die Steinfreiheit trotzdem, da bei 70 Patienten noch signifikante Restfragmente (> 4 mm) vorhanden waren.

Um die Strahlenbelastung bei Patienten mit Urolithiasis in Zukunft zu reduzieren, sollte die intraoperative Beurteilung durch den Operateur verbessert werden.

#### 4.2 Einflussfaktoren einer diskordanten Beurteilung der Steinfreiheit

Um mögliche Faktoren zu ermitteln, die die Diskordanz der intra- und postoperativen Beurteilung der Steinfreiheit beeinflussen, wurde ein Gruppenvergleich durchgeführt. Von den 181 Fällen, in denen Operateur und CT-Bildgebung bezüglich Steinfreiheitsstatus nicht übereinstimmten, wurde nur in einem Fall ein vom Operateur beschriebenes Restfragment in der postoperativen NCCT nicht bestätigt. Im Folgenden werden daher vor allem die Fälle berücksichtigt, in denen der Operateur fälschlicherweise von einer Steinfreiheit ausging.

In dieser Arbeit zeigten Fälle mit diskordantem Steinfreiheitsstatus eine signifikant höhere Rate des GSS  $\geq$  II sowie eine signifikant längere postoperative Krankenhausverweildauer ( $>$  3 Tage) als Patienten mit konkordantem Steinfreiheitsstatus.

Harraz et al., Nevo et al. und Jannello et al. beschäftigten sich in ihren Studien ebenfalls mit der Frage nach den Prädiktoren für eine genaue bzw. ungenaue Beurteilung der Steinfreiheit durch den Operateur. Harraz et al. wiesen in einer univariaten Analyse nach, dass der mittlere BMI bei korrekter Beurteilung der Steinfreiheit durch den Operateur signifikant höher war. In einer multivariaten Analyse zeigten sie, dass ein niedriger GSS die höchste Vorhersagekraft für eine richtige Beurteilung des Operateurs für das Fehlen von Restfragmenten hatte.<sup>79</sup> Nevo et al. konnten ausschließlich in einer univariablen Analyse zeigen, dass eine längere OP-Dauer mit den vom Operateur übersehenen Restfragmenten zusammenhing. In einer multivariablen Analyse machten sie deutlich, dass der Operateur bei Patienten mit zunehmender Steingröße und -anzahl, Restfragmente häufiger übersehen hatte.<sup>80</sup> Jannello et al. konnten zeigen, dass Patienten mit diskordantem Steinfreiheitsstatus, d.h. einer intraoperativen Steinfreiheit, die in der CT nicht bestätigt wurde, ein größeres Steinvolumen, multiple Steine, mehrere von Steinen betroffenen Kelchgruppen sowie einen GSS von II aufwiesen<sup>81</sup>.

Unsere Ergebnisse zeigten für einen GSS  $\geq$  II als präoperativen Parameter einen signifikanten Einfluss auf die diskordante Beurteilung der Steinfreiheit und entsprechen damit den Ergebnissen von Harraz et al. und Jannello et al. Da sich der GSS aus verschiedenen Parametern wie Steinlokalisierung, Steinanzahl, betroffene Kelchgruppen, Steingröße im Sinne von Ausgusssteinen sowie einfacher oder abnormaler Anatomie zusammensetzt,<sup>74</sup> bestätigen unsere Ergebnisse in gewisser Weise auch die Resultate von Jannello et al. hinsichtlich der Anzahl der Steine und

der betroffenen Kelchgruppen sowie von Nevo et al. bezüglich der Steinanzahl. Die OP-Dauer als Surrogat für die Steinbelastung und -komplexität korrelierte in dieser Arbeit nicht mit der vom Operateur übersehenen Restfragmentrate. Das als signifikanter Einflussfaktor von Jannello et al. definierte Steinvolumen kann mit der Steingröße dieser Arbeit nur bedingt verglichen werden, da hier nur der Durchmesser berücksichtigt wurde. Die Steingröße als signifikanter Einflussfaktor von Nevo et al. ist ebenfalls nicht mit der Steingröße dieser Arbeit vergleichbar, da sie als kumulative Größe aller Fragmente und nicht als die maximale Größe einzelner Fragmente definiert wurde. Das Ergebnis von Harraz et al. hinsichtlich des BMI kann ebenfalls nur bedingt mit dieser Arbeit verglichen werden, da diese den BMI auf der Grundlage des Mittelwerts verwendeten. Die signifikant längere Aufenthaltsdauer bei diskordanter Beurteilung der Steinfreiheit, die im Rahmen dieser Arbeit beobachtet werden konnte, ist am ehesten auf die Notwendigkeit zusätzlicher operativer Eingriffe zurückzuführen.

#### 4.3 Vergleich computertomographischer Signifikanz der Restfragmente mit Resultaten der Zusatzeingriffe

Die im Anschluss an eine PCNL durchgeführte CT stellt die empfindlichste postoperative Methode zur Beurteilung von Restfragmenten dar und gilt als Goldstandard in der Beurteilung der Urolithiasis<sup>68, 85</sup>. Neben dem Nachweis von Nierensteinen, bietet die CT Informationen über die Zusammensetzung, Lage und Größe der Steine<sup>85</sup>. Auch kleine Restfragmente bis zu 1 mm können mittels CT erkannt werden<sup>86</sup>. In dieser Arbeit wurde im Rahmen einer Analyse gezeigt, wie genau mittels postoperativer CT die Signifikanz bzw. Größe ( $\leq 4$  mm /  $> 4$  mm) der Restfragmente beurteilt werden konnte. Hierfür wurde die computertomographische Größenangabe der Restfragmente mit der intraoperativen Steingröße, die im Rahmen einer erneuten Intervention ermittelt wurde, verglichen. Das Resultat der Zusatzeingriffe wurde als Grundlage für die Berechnung der statistischen Werte verwendet.

Reststeine  $> 4$  mm wurden mit einer Sensitivität von 75 % und einem PPV von 90 % mittels CT-Bildgebung erkannt. Mit einer Spezifität von 55,56 % und einem NPV von 29,41 % wurde mittels CT-Bildgebung die Steinfreiheit bzw. die nicht signifikanten Restfragmente bestätigt. In 24 Fällen wurden im Rahmen der CT Fragmente als  $\leq 4$  mm bewertet, obwohl intraoperativ noch signifikante Restfragmente gefunden wurden. Die postoperative CT-Bildgebung erfolgte in dieser Arbeit innerhalb der

ersten postoperativen Tage, die Zusatzeingriffe zu verschiedenen Zeitpunkten nach der eigentlichen PCNL. Ein nachträgliches Steinwachstum lässt sich daher in diesen 24 Fällen nicht ausschließen. Darüber hinaus können noch vorhandene Drainagen oder Stents in der frühen postoperativen CT-Bildgebung Restfragmente verdecken und zu falsch-negativen Ergebnissen führen. In diesen Fällen kann die Nutzung des Knochenfensters die visuelle Unterscheidung zwischen Stent und Stein ermöglichen.<sup>87</sup>

Eine direkt im Anschluss an die PCNL erfolgte CT hat den Vorteil, dass im Fall von Restfragmenten eine erneute Intervention über die noch liegende PCN zeitnah erfolgen kann<sup>62, 88</sup>. Erfolgt zwischen der frühen postoperativen CT und dem Zusatzeingriff ein spontaner Steinabgang, führt dies zu einer Übertherapie. Dies stellt einen Nachteil der frühen postoperativen Bildgebung dar.<sup>35</sup> Des Weiteren kann eine früh durchgeführte CT, wie bereits beschrieben, zu falsch-positiven Ergebnissen aufgrund von mehreren kleinen zusammengelagerten Steinfragmenten bzw. unbedeutendem Steinstaub führen<sup>82</sup>. In dieser Arbeit waren in 18 von 114 Zusatzeingriffen zur Entfernung von Restfragmenten (15,79 %) keine Reststeine auffindbar.

Die Entscheidung bezüglich des Zeitpunktes der Kontrollbildgebung bleibt der Einschätzung des behandelnden Arztes überlassen<sup>35</sup>. Als optimaler Zeitpunkt für eine postoperative Bildgebung gilt das Ende des ersten Monats nach der Operation<sup>14, 68, 89</sup>.

Bei computertomographischen Restfragmenten  $\leq 4$  mm ( $n = 109$ ) war eine weitere Sitzung in 40 Fällen (36,70 %) erforderlich. Bei Restfragmenten  $> 4$  mm ( $n = 109$ ) war eine weitere Sitzung in 89 Fällen (81,65 %) erforderlich. Die Entscheidung über die Notwendigkeit einer erneuten Intervention liegt beim behandelnden Arzt<sup>35</sup>. Darüber hinaus finden sich in der Literatur verschiedene Definitionen der klinisch unbedeutenden Restfragmente (CIRFs), wodurch die uneinheitliche ärztliche Entscheidung bezüglich eines Zusatzeingriffs erklärt werden kann. Schulster et al. definierten Steine  $> 2$  mm als Restfragmente und  $< 2$  mm als steinfrei<sup>90</sup>. Portis et al. kategorisierten Restfragmente  $> 4$  mm als signifikant und Restfragmente  $< 4$  mm als nicht signifikant<sup>89</sup>. In einer Studie von Sountoulides et al. findet sich eine CIRFs-Definition für Restfragmente  $< 4 - 5$  mm<sup>69</sup>.

Laut Leitlinie gehen Steine  $\leq 4$  mm mit bis zu 95 % Wahrscheinlichkeit innerhalb von 40 Tagen spontan ab<sup>1</sup>. In dieser Arbeit zeigte der Zusatzeingriff in zehn Fällen

(25 %) einen möglichen Spontanabgang von Restfragmenten  $\leq 4$  mm. Allerdings können Restfragmente  $\leq 4$  mm auch symptomatisch werden und zusätzliche Interventionen erfordern. Laut Portis et al. können Restfragmente  $> 2$  mm und  $< 4$  mm symptomatisch werden, während es bei Restfragmenten  $< 2$  mm unwahrscheinlich sei<sup>89</sup>. Bei Streem et al. kam es bei 43 % der Restfragmente  $\leq 4$  mm zu symptomatischen Steinepisoden. Viele benötigten daher eine zusätzliche Intervention.<sup>91</sup> In einer Studie von Khaitan et al. führten 59 % der Restfragmente  $\leq 4$  mm zu einer klinischen Signifikanz. Eine zusätzliche Intervention war häufig notwendig.<sup>71</sup> Bei 92 % der Patienten mit Restfragmenten von  $\leq 2$  mm war in einer Studie von Raman et al. keine weitere Intervention erforderlich<sup>84</sup>.

Da Restfragmente  $\leq 4$  mm zu symptomatischen Steinepisoden führen können, die erneute Eingriffe erfordern, ist die Entscheidung des behandelnden Arztes für eine weitere Intervention in den 40 Fällen (36,70 %), die im Rahmen dieser Arbeit beobachtet wurden, begründet. Es ist anzunehmen, dass durch einen direkten Zusatzeingriff eine komplette Steinfreiheit bei den betroffenen Patienten erzielt werden sollte. Andererseits kann der Zusatzeingriff auch erst im Rahmen einer erneuten symptomatischen Steinepisode erfolgt sein. Bei Patienten mit Restfragmenten  $> 5$  mm sind in der Literatur weitere Eingriffe in 20 bis 60 % der Fälle erforderlich<sup>92-94</sup>. Dadurch wird auch die Entscheidung, nicht alle Restfragmente  $> 4$  mm einer erneuten Intervention zu unterziehen, nachvollziehbar. In dieser Arbeit zeigte sich im Rahmen einer erneuten Intervention bei computertomographisch nachgewiesenen Restfragmenten  $> 4$  mm in acht Fällen (9 %) ein möglicher Spontanabgang.

Die aktuelle EAU-Leitlinie empfiehlt Verlaufskontrollen bei postoperativen Restfragmenten  $\leq 4$  mm oder Stein Staub über vier Jahre. Je nach Präferenz des Patienten oder dessen Symptomatik kann auch eine operative Versorgung erwogen werden. Die Entscheidung sollte somit individuell getroffen werden. Für Patienten mit postoperativen Restfragmenten  $> 4$  mm wird eine erneute Intervention empfohlen.<sup>14</sup>

#### 4.4 Steinfreiheitsraten und Komplikationen

Die allgemeine Steinfreiheit der PCNL liegt nach den Leitlinien der Amerikanischen Urologenvereinigung bei 78 %. Um diese SFR zu erreichen, ist eine durchschnittliche Anzahl von 1,9 PCNL-Verfahren pro Steinepisode erforderlich. Die einstufige SFR nach einmaliger PCNL ist daher niedriger.<sup>29</sup>

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine einstufige SFR von 45,57 % beobachtet. Diese beinhaltet 22 Fälle (3,61 %), bei denen im Rahmen einer erneuten Intervention keine Restfragmente gefunden wurden.

Andere Studien zeigen ähnliche einstufige SFR. So beobachteten El-Nahas et al. 56,6 %<sup>95</sup> und Atalay et al. 53 %<sup>96</sup>. Beide Studien definierten die Steinfreiheit als das vollständige Fehlen von Restfragmenten in der postoperativen NCCT<sup>95, 96</sup>.

Weshalb in dieser Arbeit eine geringere einstufige SFR erreicht wurde als bei El-Nahas et al. oder Atalay et al., kann dadurch erklärt werden, dass in dieser Arbeit mit  $n = 610$  ein größeres Kollektiv untersucht wurde als bei El-Nahas et al. mit  $n = 251$  und als bei Atalay et al. mit  $n = 164$ <sup>95, 96</sup>. Zudem wurden in der Studie von El-Nahas et al. Patienten mit angeborenen Nierenanomalien ausgeschlossen<sup>95</sup>. Die Studie von Atalay et al. schloss neben angeborenen Nierenanomalien zusätzlich Patienten aus der Studie aus, die in der Vorgeschichte eine ipsilaterale PCNL für sekundäre oder tertiäre Eingriffe hatten<sup>96</sup>. Allerdings wurden in der Studie von El-Nahas et al. ausschließlich partielle und vollständige Ausgusssteine berücksichtigt und laut Kokov et al. nimmt die SFR mit zunehmender Steingröße ab<sup>95, 97</sup>.

Sobald in dieser Arbeit Restfragmente  $\leq 4$  mm auch als steinfrei gewertet wurden, erreichten wir eine einstufige SFR (mit Steinen  $\leq 4$  mm) von 57,37 %.

Die SFR von 96,23 % bei Entlassung, die im Rahmen dieser Arbeit beobachtet wurde, war höher als die in den AUA-Leitlinien veröffentlichte Durchschnittsrate von 78 %<sup>29</sup>. Eine mögliche Begründung liegt auch hier in der Definition der Steinfreiheit, wobei Restfragmente  $\leq 4$  mm für die SFR bei Entlassung als steinfrei bewertet wurden.

Bei der Klassifizierung von Komplikationen der PCNL gibt es Einschränkungen, da Zusatzeingriffe wie z. B. Second-Look-PCNL, URS oder SWL Teil der routinemäßigen Steinbehandlung sind und daher nicht als Komplikationen betrachtet werden sollten<sup>98</sup>. In dieser Arbeit lag die Komplikationsrate (Grad I bis V nach Clavien-Dindo) bei 37 %, während die aktuelle Leitlinie Raten von bis zu 30 % angibt<sup>1</sup>. Größere Komplikationen (Clavien-Dindo-Klassifikationsgrad  $> III$ ) traten selten auf. Der Klassifikationsgrad IVa wurde in neun Fällen (1,48 %) und Grad IVb in drei Fällen (0,49 %) festgestellt. An einem Zentrum für Urologie und Urochirurgie konnte die Komplikationsrate nach PCNL, trotz hoher Fallzahl, einem langen Zeitraum (2009 bis 2020), verschiedenen Operateuren und verschiedenen

Operationsinstrumenten, niedrig gehalten werden. Darüber hinaus konnten basierend auf unseren Daten keine signifikanten Einflussfaktoren für das Auftreten von postoperativen Komplikationen gefunden werden.

#### 4.5 Einflussfaktoren für postoperative Restfragmente

Um zu überprüfen, welche Faktoren Einfluss auf das Vorhandensein von Restfragmenten haben, wurde eine univariable sowie eine multivariable Analyse durchgeführt. Der steinfreie Status wurde mittels postoperativer Diagnostik bestimmt. Wenn keine postoperative Diagnostik durchgeführt wurde, wurde der intraoperativ angegebene Status der Steinfreiheit genutzt.

Es konnte im Rahmen einer univariablen logistischen Regressionsanalyse gezeigt werden, dass Patienten mit einer ASA-Klasse  $\geq 3$ , einer OP-Dauer von  $\geq 110$  min, einer konventionellen PCNL, einem GSS  $\geq II$  sowie einer initialen maximalen Steingröße  $\geq 15$  mm postoperativ signifikant mehr Restfragmente aufwiesen. Die multivariable logistische Regressionsanalyse zeigte, dass eine OP-Dauer von  $\geq 110$  min, ein GSS  $\geq II$  sowie eine initiale maximale Steingröße  $\geq 15$  mm mit einer höheren Rate an postoperativen Restfragmenten verbunden waren. Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmender Steingröße und der möglicherweise daraus resultierenden längeren OP-Dauer die Wahrscheinlichkeit steigt, dass Restfragmente in situ verbleiben. Der GSS gilt in dieser Arbeit als Prädiktor für den steinfreien Status.

Im Rahmen einer Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass die Gruppe steinfreier Patienten einen signifikant geringeren Anteil an Männern, eine geringere Steinbelastung (in  $\text{mm}^2$ ), weniger beteiligte Kelche, einen geringeren Anteil an Ausgusssteinen, einen signifikant geringeren GSS und eine kürzere mittlere OP-Dauer aufwiesen. In Bezug auf den BMI zeigten sich in der Metaanalyse keine signifikanten Unterschiede.<sup>99</sup> Auch in den Studien von El-Nahas et al. und Atalay et al. wurden Einflussfaktoren auf die postoperative Steinfreiheit benannt<sup>95, 96</sup>. Die Studie von El-Nahas et al. bestimmte den steinfreien Status nach allen 251 PCNL-Interventionen mittels Low-dose NCCT. Die multivariate Analyse ergab komplette Ausgusssteine sowie das Vorhandensein von sekundären Kelchsteinen als unabhängige Risikofaktoren für Restfragmente. Das Geschlecht und der BMI waren keine signifikanten Risikofaktoren.<sup>95</sup> Die Studie von Atalay et al. bestimmte den steinfreien Status nach 164 PCNL-Interventionen in Bauchlagerung anhand von

Röntgenaufnahmen oder einer NCCT. Prä- und intraoperative Merkmale wurden im Hinblick auf ihren Einfluss auf eine postoperative Steinfreiheit analysiert. Das Geschlecht und der BMI zeigten sich auch hier als nicht signifikant. Die mittlere OP-Dauer erwies sich in der univariaten Analyse bei Patienten mit Reststeinen als signifikant länger. Die multivariate Analyse zeigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen der betroffenen Kelchzahl, des Steinvolumens, der maximalen Steingröße und der SFR.<sup>96</sup>

Dies stützen unsere Ergebnisse, da die Steinmerkmale der genannten Studien Bestandteile des GSS sind und eine große initiale Steingröße ( $\geq 15$  mm) mit einer höheren Rate an postoperativen Restfragmenten assoziiert war. Die mittleren Operationszeiten der Metaanalyse sowie von Atalay et al. sind mit unserem signifikanten Ergebnis der medianen OP-Dauer nur bedingt zu vergleichen. Das Geschlecht und der BMI korrelierte in dieser Arbeit nicht mit dem Vorhandensein postoperativer Restfragmente. Der Einfluss der ASA-Klassifikation und der Schaftgröße auf die postoperative Restfragmentrate wurde in dieser Arbeit zusätzlich untersucht und erwies sich nur in der univariaten Analyse als signifikant. Somit zeigt sich keine eindeutige Evidenz für den Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen und dem Einfluss auf postoperative Restfragmente.

#### 4.6 Das Uro Dyna-CT als alternatives Verfahren für die Zukunft

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass auch weiterhin eine postoperative Bildgebung notwendig ist, um Restfragmente nach einer PCNL nicht zu übersehen. Anstelle der postoperativen NCCT könnte eine für die Beurteilung von Restfragmenten empfindliche intraoperative Bildgebung mit geringer Strahlenbelastung durchgeführt werden. Die intraoperative Beurteilung der Steinfreiheit durch den Chirurgen würde dadurch unterstützt und eine Verbesserung der einstufigen SFR könnte erzielt werden. Eine Alternative zu der routinemäßig durchgeführten postoperativen NCCT stellt das Uro Dyna-CT (*ArtisZee*, Siemens Healthcare Sector, Erlangen, Deutschland) für den intraoperativen Nachweis von Restfragmenten dar, die weder durch die Nephroskopie noch durch die Fluoroskopie entdeckt werden konnten.<sup>100</sup> Es verursacht bei der Identifizierung von Nierensteinen im Vergleich zur Standard-NCCT eine geringere Strahlenbelastung bei CT-ähnlicher Bildqualität<sup>101</sup>. In einer ex vivo Studie von Meister et al. konnte gezeigt werden, dass mit dem Uro Dyna-CT Restfragmente erkannt und deren Größe mit hoher Genauigkeit intraoperativ gemessen werden konnte. Die Installation dieses Systems

ist jedoch kostspielig und nicht überall verfügbar.<sup>67</sup> In einer aktuellen Studie von Kingma et al. wurden die SFR der intraoperativen Dyna-CT-Aufnahmen mit den Follow-up-NCCT-Aufnahmen nach PCNL verglichen. Restfragmente  $\leq 4$  mm wurden als steinfrei bewertet. Die SFR war bei den nach vier Wochen erfolgten Follow-up-NCCT-Scans mit 63,2 % um 15,8 % höher als bei den intraoperativen Dyna-CT-Scans (47,4 %). Einerseits könnte dieser Unterschied durch Spontanabgänge in den vier Wochen zwischen den Eingriffen und den Follow-up-Scans erklärt werden, andererseits könnte der Unterschied auf die direkt intraoperative Entfernung von gefundenen Restfragmenten im Dyna-CT-Scan zurückgeführt werden. Mithilfe eines intraoperativen Dyna-CT-Scans konnte in der Studie von Kingma et al. eine erhöhte SFR bei der Nachuntersuchung in der CT nachgewiesen werden. Es bleibt unklar, ob dies zu einem relevanten Anstieg der einstufigen SFR geführt hat, da der Einfluss der spontanen Steinabgänge nicht bekannt war.<sup>100</sup>

#### 4.7 Limitationen

Es handelt sich um eine retrospektive Studie, in der ausschließlich bereits vorliegende Daten erhoben wurden. Die vorliegenden Daten waren hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit nicht überprüfbar.

Weitere Limitationen ergeben sich bei der Datenbankerstellung. Die präoperativ erfassten Daten zur betroffenen Seite und zur Steinlokalisierung liefern ausschließlich Informationen über die Steine, welche im Rahmen des PCNL-Eingriffs entfernt werden sollten. Falls ein Patient kontralateral ebenfalls Steine aufwies, geht dies aus der Datenbank nicht hervor. Der GSS wurde nach der Datenbankerstellung bestimmt. Diese im Nachhinein erfolgte Einteilung stellt eine potenzielle Fehlerquelle dar. Des Weiteren wurden die einzelnen Verfahren aller vorherigen Steinoperationen notiert. Dabei wurde jedoch nicht berücksichtigt, ob es sich um die aktuelle Operationsseite handelte, was wiederum zu Veränderungen im Operationsgebiet führen könnte. Die ASA-Klassifikation wurde anhand der dokumentierten Vorerkrankungen teilweise selbst bestimmt und stellt eine potenzielle Fehlerquelle dar. Die Größenangabe (in mm) möglicher Restfragmente konnte aus dem Operationsbericht nicht entnommen werden. Dadurch war bei der chirurgischen Beurteilung der Steinfreiheit lediglich eine Einteilung in *Restfragmente*, *keine Restfragmente* und *unklare Beurteilung* möglich. Postoperativ wurden im Rahmen des CT-Befundes sowie einer erneuten Intervention signifikante Restfragmente teilweise ohne eine Größenangabe (in mm) nur als solche beschrieben. Der an die

PCNL-Operation angepasste Clavien-Dindo-Komplikationsscore wurde auf der Grundlage postoperativ ermittelter Komplikationen selbst bestimmt und stellt eine potenzielle Fehlerquelle dar.

Ein Patient konnte im Rahmen verschiedener Steinepisoden mehrmals mit einer PCNL therapiert worden sein. Dies führt zu Limitationen bei der deskriptiven Statistik der Daten zur Patientenanamnese (Alter, Geschlecht, BMI, ASA-Klasse, Vorerkrankungen).

Dadurch, dass nur PCNL-Eingriffe in Bauchlagerung gewertet wurden und PCNL-Zusatzeingriffe während desselben stationären Aufenthalts nicht als eigene PCNL-Fälle gezählt wurden, ist die Gesamtzahl der PCNL-Operationen pro Jahr deutlich höher.

Weitere Limitationen zeigen sich bei dem Vergleich der intraoperativen und der computertomographischen Beurteilung der Steinfreiheit. Wie bereits erwähnt, konnte die Größe (in mm) möglicher Restfragmente nicht aus dem Operationsbericht entnommen werden und die chirurgische Beurteilung der Steinfreiheit wurde in *Restfragmente* und *keine Restfragmente* unterteilt. Die PCNL-Operationen und die Beurteilungen der Steinfreiheit wurden in dieser Arbeit von verschiedenen Chirurgen mit unterschiedlichen Qualifikationen und Lernkurven durchgeführt. Darüber hinaus erfolgte die CT-Auswertung von verschiedenen Radiologen. Die Befunde sind somit nicht einheitlich. Des Weiteren wurde in diesem Vergleich die CT als Kontrollgruppe genutzt, da sie als Goldstandard in der Beurteilung der Urolithiasis angesehen wird.

Die Analysen der Faktoren, welche die Diskordanz zwischen intraoperativer und computertomographischer Beurteilung der Steinfreiheit und die postoperative Restfragmentrate beeinflussen, zeigen weitere Einschränkungen. Für beide Analysen wurden hauptsächlich Faktoren ausgewählt, die in zuvor veröffentlichten Studien einen signifikanten Einfluss gezeigt haben.

Der Vergleich der computertomographischen und der intraoperativen Größenangabe der Restfragmente zeigt ebenfalls Limitationen. Wie bereits beschrieben, wurden im Rahmen des postoperativen CT-Befundes sowie einer erneuten Intervention signifikante Restfragmente teilweise ohne eine Größenangabe (in mm) nur als solche beschrieben. Aufgrund der verschiedenen Definitionen von signifikanten Restfragmenten könnte dies dazu führen, dass Restfragmente als *signifikant* (> 4 mm) gewertet wurden, obwohl sie in Wirklichkeit  $\leq 4$  mm groß waren. Zudem erfolgte die Auswertung des CT-Befundes, wie bereits erwähnt, von verschiedenen

Radiologen. Des Weiteren wurde der Zeitabstand zwischen postoperativer Bildgebung und Zusatzeingriff nicht erhoben. Aussagen darüber, ob die computertomographische Beurteilung der Reststeingröße  $\leq 4$  mm fehlerhaft war oder ob ein Steinwachstum erfolgte, sind daher nur bedingt möglich.

Eine weitere Limitation ergibt sich bei der Ermittlung der einstufigen SFR. PCNL-Zusatzeingriffe, welche im Rahmen eines neuen stationären Aufenthalts erfolgten, wurden als eigenständiger Fall gewertet. Dies konnte dazu geführt haben, dass ein PCNL-Eingriff als direkt steinfrei gewertet wurde, obwohl es sich bei diesem um einen Zusatzeingriff gehandelt hat. Darüber hinaus führt die Tatsache, dass der PCNL-Zusatzeingriff als eigener Fall gewertet wurde, auch zu einer Limitation bei der SFR bei Entlassung. Fälle mit Zusatzeingriff wurden dadurch teilweise doppelt als steinfrei gewertet. Des Weiteren wurden ausschließlich Zusatzeingriffe am Universitätsklinikum Mannheim für Urologie und Urochirurgie in die Statistik eingeschlossen. Falls Zusatzeingriffe extern stattgefunden haben sollten, entging dies der Statistik für die einstufige SFR.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Die PCNL dient als Verfahren der Wahl bei Nierensteinen > 20 mm sowie bei Unterkelchsteinen ab 10 mm. Ziel ist es einen steinfreien Status zu erreichen, da verbleibende Fragmente das Risiko künftiger steinbedingter Ereignisse und begleitender Operationen erhöhen können. Um einen steinfreien Status zu erreichen, sind 1,9 PCNL-Verfahren pro Steinepisode erforderlich. Das Erkennen von Restfragmenten erfolgt intraoperativ durch den Operateur. Postoperativ gilt die native Computertomographie (NCCT) als empfindlichste Methode. Die CT-Bildgebung bedingt für die Patienten allerdings eine zusätzliche Strahlenexposition. Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, ob eine postoperative NCCT-Bildgebung notwendig ist oder ob die durch den Operateur intraoperativ evaluierte Steinfreiheit eine ausreichende Beurteilung darstellt und eine Reduzierung der postoperativen Strahlenbelastung erreicht werden kann. Außerdem wurden mögliche Einflussfaktoren für einen nicht übereinstimmenden Steinfreiheitsstatus der beiden Methoden (Operateur vs. CT) ermittelt. Der Vergleich des computertomographischen Ergebnisses mit dem des Zusatzeingriffs wurde durchgeführt, um eine Aussage bezüglich der Spontanabgangsrate treffen zu können. Die Steinfreiheitsrate nach einem einzigen PCNL-Eingriff (einstufige Steinfreiheitsrate) und die Steinfreiheitsrate bei Entlassung wurden bestimmt und Faktoren ermittelt, welche die postoperative Steinfreiheitsrate möglicherweise beeinflussen.

Es wurde eine retrospektive Analyse aller Patienten im Alter von 16 Jahren oder älter durchgeführt, die sich von Februar 2009 bis September 2020 in der Klinik für Urologie und Urochirurgie des Universitätsklinikums Mannheim einer PCNL in Bauchlagerung unterzogen hatten. Deskriptiv wurden Daten zur Patientenanamnese, zu Steinmerkmalen, zum intra- und postoperativen Procedere mit Komplikationen, zur postoperativen Steinfreiheit und zur Reinterventionsrate erfasst. Die Steinkomplexität wurde anhand des Guy's Stone Score bewertet. Erfolgte in den ersten postoperativen Tagen eine NCCT, wurde der radiologische Befund mit der intraoperativen Beurteilung durch den Operateur hinsichtlich der Steinfreiheit mittels McNemar-Tests verglichen. Mit Hilfe des Pearson-Chi-Quadrat-Tests wurden Faktoren ermittelt, welche mit einem nicht übereinstimmenden Steinfreiheitsstatus assoziiert waren. Es wurden allgemeine Werte für die Sensitivität, Spezifität und

Vorhersagewerte bestimmt, um die Aussagekraft der CT-Bildgebung bezüglich Restfragmenten mit den Ergebnissen der Zusatzeingriffe zu vergleichen. Die Steinfreiheitsraten wurden anhand der Ergebnisse der postoperativen Bildgebung und der Zusatzeingriffe, sofern durchgeführt, bestimmt. Es wurde eine univariable und eine multivariable logistische Regressionsanalyse durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Vorhandensein postoperativer Restfragmente zu untersuchen.

Die Studienkohorte umfasste 610 PCNL-Eingriffe. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei  $52,82 \pm 14,90$  Jahren. In 418 Fällen wurde der intraoperativ vom Operateur beurteilte Steinfreiheitsstatus, mit dem der postoperativen NCCT-Bildgebung verglichen. Die Diskrepanz der beiden Methoden zeigte sich als signifikant ( $p < 0,0001$ ) im McNemar-Test. Die Sensitivität, die Spezifität sowie der PPV und der NPV des Operateurs bei der intraoperativen Beurteilung von Restfragmenten lagen bei 24,05 %, 99,45 %, 98,28 % und 50 %. Fälle mit diskordantem Steinfreiheitsstatus hatten eine signifikant höhere Rate des Guy's Stone Score  $\geq$  II. Für die Aussagekraft der CT-Bildgebung im Vergleich zum Zusatzeingriff, ergab sich eine Sensitivität von 75 %, eine Spezifität von 55,56 %, einen PPV von 90 % und einen NPV von 29,41 %. Die einstufige Steinfreiheitsrate betrug 45,57 %. Die Steinfreiheitsrate bei Entlassung betrug 96,23 %. In der multivariablen Analyse waren eine OP-Dauer  $\geq$  110 min, ein Guy's Stone Score  $\geq$  II und eine initiale maximale Steingröße  $\geq$  15 mm mit einer höheren Rate an postoperativen Restfragmenten verbunden.

Erkannte der Chirurg Restfragmente, war dieser Befund zuverlässig (PPV 98,28 %) und auf eine zusätzliche NCCT hätte verzichtet werden können. Trotz der Fähigkeit des Chirurgen, nach einer PCNL Restfragmente als solche zu erkennen, bleibt aufgrund der hohen Falsch-Negativ-Rate und des geringen NPV (50 %) eine postoperative Bildgebung erforderlich, um die Abwesenheit von Restfragmenten zu bestätigen bzw. Restfragmente nicht zu übersehen. Ein Guy's Stone Score  $\geq$  II war mit einer höheren Fehleinschätzung des Operateurs hinsichtlich der Steinfreiheit verbunden. Um die Strahlenbelastung bei Patienten mit Urolithiasis in Zukunft zu reduzieren, sollte die intraoperative Beurteilung durch den Operateur verbessert werden.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

1. S2k-Leitlinie zur Diagnostik, Therapie und Metaphylaxe der Urolithiasis - Aktualisierung 2018, Arbeitskreis Harnsteine der Akademie der Deutschen Urologen Deutsche Gesellschaft für Urologie e. V., 2018
2. Finlayson B: Physicochemical aspects of urolithiasis. *Kidney Int*, 13: 344-360, 1978 10.1038/ki.1978.53
3. Evan AP: Physiopathology and etiology of stone formation in the kidney and the urinary tract. *Pediatr Nephrol*, 25: 831-841, 2010 10.1007/s00467-009-1116-y
4. Praus F, Schönthaler M: [Modifiable and non-modifiable risk factors for urolithiasis]. *Urologe A*, 58: 1281-1288, 2019 10.1007/s00120-019-01031-9
5. Hesse A, Brändle E, Wilbert D, Köhrmann KU, Alken P: Study on the prevalence and incidence of urolithiasis in Germany comparing the years 1979 vs. 2000. *Eur Urol*, 44: 709-713, 2003 10.1016/s0302-2838(03)00415-9
6. Scales CD, Jr., Smith AC, Hanley JM, Saigal CS: Prevalence of kidney stones in the United States. *Eur Urol*, 62: 160-165, 2012 10.1016/j.eururo.2012.03.052
7. Dwyer ME, Krambeck AE, Bergstralh EJ, Milliner DS, Lieske JC, Rule AD: Temporal trends in incidence of kidney stones among children: a 25-year population based study. *J Urol*, 188: 247-252, 2012 10.1016/j.juro.2012.03.021
8. Skolarikos A, Straub M, Knoll T, Sarica K, Seitz C, Petřík A, et al.: Metabolic evaluation and recurrence prevention for urinary stone patients: EAU guidelines. *Eur Urol*, 67: 750-763, 2015 10.1016/j.eururo.2014.10.029
9. Roberson D, Sperling C, Shah A, Ziembra J: Economic Considerations in the Management of Nephrolithiasis. *Curr Urol Rep*, 21: 18, 2020 10.1007/s11934-020-00971-6
10. Klein J, Netsch C, Sievert KD, Miernik A, Westphal J, Leyh H, et al.: [Extracorporeal shock wave lithotripsy]. *Urologe A*, 57: 463-473, 2018 10.1007/s00120-018-0611-9
11. Knoll T, Michel MS, Alken P: [Interventional treatment of urinary calculi]. *Dtsch Med Wochenschr*, 128: 1485-1488, 2003 10.1055/s-2003-40278
12. Gross AJ, Rassweiler J, Sievert KD, Miernik A, Westphal J, Leyh H, et al.: [Ureterorenoscopy]. *Urologe A*, 56: 395-404, 2017 10.1007/s00120-017-0333-4
13. Preminger GM, Tiselius HG, Assimos DG, Alken P, Buck AC, Gallucci M, et al.: 2007 Guideline for the management of ureteral calculi. *Eur Urol*, 52: 1610-1631, 2007 10.1016/j.eururo.2007.09.039
14. Skolarikos A, Neisius A, Petrik A, Somani B, Thomas K, Gambaro G: *EAU Guidelines on Urolithiasis. Edn. presented at the EAU Annual Congress Amsterdam, 2022*
15. Türk C, Petřík A, Sarica K, Seitz C, Skolarikos A, Straub M, et al.: EAU Guidelines on Interventional Treatment for Urolithiasis. *Eur Urol*, 69: 475-482, 2016 10.1016/j.eururo.2015.07.041
16. Perez Castro E, Ooster P, Jingga V, Razvi H, Stravodimos KG, Parikh K, et al.: Differences in ureteroscopic stone treatment and outcomes for distal, mid-, proximal, or multiple ureteral locations: the Clinical Research Office of the Endourological Society ureteroscopy global study. *Eur Urol*, 66: 102-109, 2014 10.1016/j.eururo.2014.01.011

17. Hughes T, Ho HC, Pietropaolo A, Somani BK: Guideline of guidelines for kidney and bladder stones. *Turk J Urol*, 46: S104-s112, 2020 10.5152/tud.2020.20315
18. Patel SR, Nakada SY: The modern history and evolution of percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol*, 29: 153-157, 2015 10.1089/end.2014.0287
19. Rupel E BR: Nephroscopy with Removal of Stone following Nephrostomy for Obstructive Calculous Anuria. *of Urology*, 46: 177-182, 1941 10.1016/S0022-5347(17)70906-8
20. Goodwin WE, Casey WC, Woolf W: Percutaneous trocar (needle) nephrostomy in hydronephrosis. *J Am Med Assoc*, 157: 891-894, 1955 10.1001/jama.1955.02950280015005
21. Fernström I, Johansson B: Percutaneous pyelolithotomy. A new extraction technique. *Scand J Urol Nephrol*, 10: 257-259, 1976 10.1080/21681805.1976.11882084
22. Wickham JE, Kellett MJ: Percutaneous nephrolithotomy. *Br J Urol*, 53: 297-299, 1981 10.1111/j.1464-410x.1981.tb03181.x
23. Günther R, Alken P, Altwein JE: [Percutaneous nephro-pyelostomy applications and results (author's transl)]. *Rofo*, 128: 720-726, 1978 10.1055/s-0029-1230937
24. Wickham JE, Miller RA, Kellett MJ, Payne SR: Percutaneous nephrolithotomy: one stage or two? *Br J Urol*, 56: 582-585, 1984 10.1111/j.1464-410x.1984.tb06121.x
25. Wilhelm K, Fritsche HM, Netsch C: [Percutaneous Stone Treatment Today: Standard-, Mini-, Micro-, Ultramini-PCNL]. *Aktuelle Urol*, 46: 297-302, 2015 10.1055/s-0035-1555863
26. Giusti G, Piccinelli A, Taverna G, Benetti A, Pasini L, Corinti M, et al.: Miniperc? No, thank you! *Eur Urol*, 51: 810-814; discussion 815, 2007 10.1016/j.eururo.2006.07.047
27. Hacker A, Bachmann A, Herrmann T, Homberg R, Klein J, Leyh H, et al.: [Operative technique for percutaneous nephrolithotomy]. *Urologe A*, 55: 1375-1386, 2016 10.1007/s00120-016-0229-8
28. Desai M, Sun Y, Buchholz N, Fuller A, Matsuda T, Matlaga B, et al.: Treatment selection for urolithiasis: percutaneous nephrolithomy, ureteroscopy, shock wave lithotripsy, and active monitoring. *World J Urol*, 35: 1395-1399, 2017 10.1007/s00345-017-2030-8
29. Preminger GM, Assimos DG, Lingeman JE, Nakada SY, Pearle MS, Wolf JS, Jr.: Chapter 1: AUA guideline on management of staghorn calculi: diagnosis and treatment recommendations. *J Urol*, 173: 1991-2000, 2005 10.1097/01.ju.0000161171.67806.2a
30. Knoll T, Bach T, Humke U, Neisius A, Stein R, Schönthaler M, et al.: [S2k guidelines on diagnostics, therapy and metaphylaxis of urolithiasis (AWMF 043/025) : Compendium]. *Urologe A*, 55: 904-922, 2016 10.1007/s00120-016-0133-2
31. Leavitt DA, Theckumparampil N, Moreira DM, Elsamra SE, Waingankar N, Hoenig DM, et al.: Continuing aspirin therapy during percutaneous nephrolithotomy: unsafe or under-utilized? *J Endourol*, 28: 1399-1403, 2014 10.1089/end.2014.0235
32. Jones P, Elmussareh M, Aboumarzouk OM, Mucksavage P, Somani BK: Role of Minimally Invasive (Micro and Ultra-mini) PCNL for Adult Urinary Stone Disease in the Modern Era: Evidence from a Systematic Review. *Curr Urol Rep*, 19: 27, 2018 10.1007/s11934-018-0764-5

33. Knoll T, Daels F, Desai J, Hoznek A, Knudsen B, Montanari E, et al.: Percutaneous nephrolithotomy: technique. *World J Urol*, 35: 1361-1368, 2017 10.1007/s00345-017-2001-0
34. Ruhayel Y, Tepeler A, Dabestani S, MacLennan S, Petřík A, Sarica K, et al.: Tract Sizes in Miniaturized Percutaneous Nephrolithotomy: A Systematic Review from the European Association of Urology Urolithiasis Guidelines Panel. *Eur Urol*, 72: 220-235, 2017 10.1016/j.eururo.2017.01.046
35. Seitz C, Bach T, Bader M, Berg W, Knoll T, Neisius A, et al.: [Update of the 2Sk guidelines on the diagnostics, treatment and metaphylaxis of urolithiasis (AWMF register number 043-025) : What is new?]. *Urologe A*, 58: 1304-1312, 2019 10.1007/s00120-019-01033-7
36. Turk C, Petrik A, Sarica K, Seitz C, Skolarikos A, Straub M, et al.: EAU Guidelines on Diagnosis and Conservative Management of Urolithiasis. *Eur Urol*, 69: 468-474, 2016 10.1016/j.eururo.2015.07.040
37. Mills L, Morley EJ, Soucy Z, Vilke GM, Lam SHF: Ultrasound for the Diagnosis and Management of Suspected Urolithiasis in the Emergency Department. *J Emerg Med*, 54: 215-220, 2018 10.1016/j.jemermed.2017.09.020
38. Chen TT, Wang C, Ferrandino MN, Scales CD, Yoshizumi TT, Preminger GM, et al.: Radiation Exposure during the Evaluation and Management of Nephrolithiasis. *J Urol*, 194: 878-885, 2015 10.1016/j.juro.2015.04.118
39. Viprakasit DP, Sawyer MD, Herrell SD, Miller NL: Limitations of ultrasonography in the evaluation of urolithiasis: a correlation with computed tomography. *J Endourol*, 26: 209-213, 2012 10.1089/end.2011.0177
40. Abdel-Gawad M, Kadasne RD, Elsobky E, Ali-El-Dein B, Monga M: A Prospective Comparative Study of Color Doppler Ultrasound with Twinkling and Noncontrast Computerized Tomography for the Evaluation of Acute Renal Colic. *J Urol*, 196: 757-762, 2016 10.1016/j.juro.2016.03.175
41. Heneghan JP, McGuire KA, Leder RA, DeLong DM, Yoshizumi T, Nelson RC: Helical CT for nephrolithiasis and ureterolithiasis: comparison of conventional and reduced radiation-dose techniques. *Radiology*, 229: 575-580, 2003 10.1148/radiol.2292021261
42. Nourian A, Ghiraldi E, Friedlander JI: Dual-Energy CT for Urinary Stone Evaluation. *Curr Urol Rep*, 22: 1, 2020 10.1007/s11934-020-01019-5
43. Poletti PA, Platon A, Rutschmann OT, Schmidlin FR, Iselin CE, Becker CD: Low-dose versus standard-dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic. *AJR Am J Roentgenol*, 188: 927-933, 2007 10.2214/ajr.06.0793
44. Kluner C, Hein PA, Gralla O, Hein E, Hamm B, Romano V, et al.: Does ultra-low-dose CT with a radiation dose equivalent to that of KUB suffice to detect renal and ureteral calculi? *J Comput Assist Tomogr*, 30: 44-50, 2006 10.1097/01.rct.0000191685.58838.ef
45. Wollin DA, Joyce AD, Gupta M, Wong MYC, Laguna P, Gravas S, et al.: Antibiotic use and the prevention and management of infectious complications in stone disease. *World J Urol*, 35: 1369-1379, 2017 10.1007/s00345-017-2005-9
46. Hacker A: Perkutane Nephrolitholapaxie (PCNL). *Aktuelle Urol*, 48: 169-177, 2017 10.1055/s-0043-110865
47. Patel RM, Okhunov Z, Clayman RV, Landman J: Prone Versus Supine Percutaneous Nephrolithotomy: What Is Your Position? *Curr Urol Rep*, 18: 26, 2017 10.1007/s11934-017-0676-9
48. Scoffone CM, Cracco CM, Cossu M, Grande S, Poggio M, Scarpa RM: Endoscopic combined intrarenal surgery in Galdakao-modified supine Valdivia

- position: a new standard for percutaneous nephrolithotomy? *Eur Urol*, 54: 1393-1403, 2008 10.1016/j.eururo.2008.07.073
49. Cracco CM, Alken P, Scoffone CM: Positioning for percutaneous nephrolithotomy. *Curr Opin Urol*, 26: 81-87, 2016 10.1097/mou.0000000000000239
  50. Atkinson CJ, Turney BW, Noble JG, Reynard JM, Stoneham MD: Supine vs prone percutaneous nephrolithotomy: an anaesthetist's view. *BJU Int*, 108: 306-308, 2011 10.1111/j.1464-410X.2011.10488.x
  51. Yuan D, Liu Y, Rao H, Cheng T, Sun Z, Wang Y, et al.: Supine Versus Prone Position in Percutaneous Nephrolithotomy for Kidney Calculi: A Meta-Analysis. *J Endourol*, 30: 754-763, 2016 10.1089/end.2015.0402
  52. Rassweiler-Seyfried MC, Lima E, Ritter M, Klein JT, Michel MS: [Navigation systems for the percutaneous access to the kidney]. *Urologe A*, 59: 1017-1025, 2020 10.1007/s00120-020-01250-5
  53. Liu Q, Zhou L, Cai X, Jin T, Wang K: Fluoroscopy versus ultrasound for image guidance during percutaneous nephrolithotomy: a systematic review and meta-analysis. *Urolithiasis*, 45: 481-487, 2017 10.1007/s00240-016-0934-1
  54. Frede T, Hatzinger M, Rassweiler J: Ultrasound in endourology. *J Endourol*, 15: 3-16, 2001 10.1089/08927790150500890
  55. Desai M: Ultrasonography-guided punctures-with and without puncture guide. *J Endourol*, 23: 1641-1643, 2009 10.1089/end.2009.1530
  56. Rassweiler JJ, Renner C, Eisenberger F: The management of complex renal stones. *BJU Int*, 86: 919-928, 2000 10.1046/j.1464-410x.2000.00906.x
  57. Corrales M, Doizi S, Barghouthy Y, Kamkour H, Somani B, Traxer O: Ultrasound or Fluoroscopy for Percutaneous Nephrolithotomy Access, Is There Really a Difference? A Review of Literature. *J Endourol*, 35: 241-248, 2021 10.1089/end.2020.0672
  58. Knoll T, Michel MS, Alken P: Surgical Atlas. Percutaneous nephrolithotomy: the Mannheim technique. *BJU Int*, 99: 213-231, 2007 10.1111/j.1464-410X.2007.06613.x
  59. Lopes T, Sangam K, Alken P, Barroilhet BS, Saussine C, Shi L, et al.: The Clinical Research Office of the Endourological Society Percutaneous Nephrolithotomy Global Study: tract dilation comparisons in 5537 patients. *J Endourol*, 25: 755-762, 2011 10.1089/end.2010.0488
  60. Alken P: The telescope dilators *World J Urol*, 3: 7-10, 1985
  61. Portis AJ, Laliberte MA, Drake S, Holtz C, Rosenberg MS, Bretzke CA: Intraoperative fragment detection during percutaneous nephrolithotomy: evaluation of high magnification rotational fluoroscopy combined with aggressive nephroscopy. *J Urol*, 175: 162-165; discussion 165-166, 2006 10.1016/s0022-5347(05)00052-2
  62. Mishra S, Sabnis RB, Kurien A, Ganpule A, Muthu V, Desai M: Questioning the wisdom of tubeless percutaneous nephrolithotomy (PCNL): a prospective randomized controlled study of early tube removal vs tubeless PCNL. *BJU Int*, 106: 1045-1048; discussion 1048-1049, 2010 10.1111/j.1464-410X.2010.09223.x
  63. Knoll T, Wezel F, Michel MS, Honeck P, Wendt-Nordahl G: Do patients benefit from miniaturized tubeless percutaneous nephrolithotomy? A comparative prospective study. *J Endourol*, 24: 1075-1079, 2010 10.1089/end.2010.0111
  64. Chen ZJ, Yan YJ, Zhou JJ: Comparison of tubeless percutaneous nephrolithotomy and standard percutaneous nephrolithotomy for kidney

- stones: A meta-analysis of randomized trials. *Asian J Surg*, 43: 60-68, 2020 10.1016/j.asjsur.2019.01.016
65. Gokce MI, Gulpinar O, Ibis A, Karaburun M, Kubilay E, Suer E: Retrograde vs. antegrade flexible nephroscopy for detection of residual fragments following PNL: A prospective study with computerized tomography control. *Int Braz J Urol*, 45: 581-587, 2019 10.1590/S1677-5538.IBJU.2018.0695
66. Acar C, Cal C: Impact of Residual Fragments following Endourological Treatments in Renal Stones. *Adv Urol*, 2012: 813523, 2012 10.1155/2012/813523
67. Meister B, Rassweiler MC, Weiß C, Häcker A, Ritter M: Accuracy in detecting and measuring residual fragments with the Uro Dyna-CT. *World J Urol*, 33: 1039-1043, 2015 10.1007/s00345-014-1385-3
68. Park J, Hong B, Park T, Park HK: Effectiveness of noncontrast computed tomography in evaluation of residual stones after percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol*, 21: 684-687, 2007 10.1089/end.2006.0352
69. Sountoulides P, Metaxa L, Cindolo L: Is computed tomography mandatory for the detection of residual stone fragments after percutaneous nephrolithotomy? *J Endourol*, 27: 1341-1348, 2013 10.1089/end.2012.0253
70. Delvecchio FC, Preminger GM: Management of residual stones. *Urol Clin North Am*, 27: 347-354, 2000 10.1016/s0094-0143(05)70263-9
71. Khaitan A, Gupta NP, Hemal AK, Dogra PN, Seth A, Aron M: Post-ESWL, clinically insignificant residual stones: reality or myth? *Urology*, 59: 20-24, 2002 10.1016/s0090-4295(01)01494-7
72. Ferrandino MN, Bagrodia A, Pierre SA, Scales CD, Jr., Rampersaud E, Pearle MS, et al.: Radiation exposure in the acute and short-term management of urolithiasis at 2 academic centers. *J Urol*, 181: 668-672; discussion 673, 2009 10.1016/j.juro.2008.10.012
73. Weisenthal K, Karthik P, Shaw M, Sengupta D, Bhargavan-Chatfield M, Burleson J, et al.: Evaluation of Kidney Stones with Reduced-Radiation Dose CT: Progress from 2011-2012 to 2015-2016-Not There Yet. *Radiology*, 286: 581-589, 2018 10.1148/radiol.2017170285
74. Thomas K, Smith NC, Hegarty N, Glass JM: The Guy's stone score--grading the complexity of percutaneous nephrolithotomy procedures. *Urology*, 78: 277-281, 2011 10.1016/j.urology.2010.12.026
75. Irlbeck T, Zwißler B, Bauer A: [ASA classification : Transition in the course of time and depiction in the literature]. *Anaesthetist*, 66: 5-10, 2017 10.1007/s00101-016-0246-4
76. Hübner WA, Irby P, Stoller ML: Natural history and current concepts for the treatment of small ureteral calculi. *Eur Urol*, 24: 172-176, 1993 10.1159/000474289
77. Zuazu JR, Hruza M, Rassweiler JJ, de la Rosette JJ: The Clavien classification system to optimize the documentation of PCNL morbidity. *Arch Ital Urol Androl*, 82: 20-22, 2010
78. World Health Organisation - Obesity and Overweight, Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Accessed 19.11.2023
79. Harraz AM, Osman Y, El-Nahas AR, Elsayy AA, Fakhreldin I, Mahmoud O, et al.: Residual stones after percutaneous nephrolithotomy: comparison of intraoperative assessment and postoperative non-contrast computerized tomography. *World J Urol*, 35: 1241-1246, 2017 10.1007/s00345-016-1990-4

80. Nevo A, Holland R, Schreter E, Gilad R, Baniel J, Cohen A, et al.: How Reliable Is the Intraoperative Assessment of Residual Fragments During Percutaneous Nephrolithotomy? A Prospective Study. *J Endourol*, 32: 471-475, 2018 10.1089/end.2018.0005
81. Jannello LMI, Turetti M, Silvani C, Galbiati G, Garbagnati S, Pozzi E, et al.: Urologists are optimistic surgeons: prevalence and predictors of discordance between intraoperative stone-free rate and cross-sectional imaging evaluation after vacuum-assisted mini-percutaneous nephrolithotomy. *World J Urol*, 40: 2331-2338, 2022 10.1007/s00345-022-04091-3
82. Kaufmann OG, Sountoulides P, Kaplan A, Louie M, McDougall E, Clayman R: Skin treatment and tract closure for tubeless percutaneous nephrolithotomy: University of California, Irvine, technique. *J Endourol*, 23: 1739-1741, 2009 10.1089/end.2009.1544
83. Skolarikos A, Papatsoris AG: Diagnosis and management of postpercutaneous nephrolithotomy residual stone fragments. *J Endourol*, 23: 1751-1755, 2009 10.1089/end.2009.1546
84. Raman JD, Bagrodia A, Gupta A, Bensalah K, Cadeddu JA, Lotan Y, et al.: Natural history of residual fragments following percutaneous nephrostolithotomy. *J Urol*, 181: 1163-1168, 2009 10.1016/j.juro.2008.10.162
85. Rosenbluth E, Chandhoke R, Rosen DC, Bamberger JN, Gupta M: Deceived by a CT Scan: The Case of the Misrepresented Stone Size. *J Endourol Case Rep*, 6: 114-117, 2020 10.1089/cren.2019.0127
86. Kati B, Pelit ES, Yagmur I, Akin Y, Ciftci H, Yeni E: Which way is best for stone fragments and dust extraction during percutaneous nephrolithotomy. *Urolithiasis*, 46: 297-302, 2018 10.1007/s00240-017-0987-9
87. Tanrikut C, Sahani D, Dretler SP: Distinguishing stent from stone: use of bone windows. *Urology*, 63: 823-826; discussion 826-827, 2004 10.1016/j.urology.2003.12.041
88. Zilberman DE, Lipkin ME, de la Rosette JJ, Ferrandino MN, Mamoulakis C, Laguna MP, et al.: Tubeless percutaneous nephrolithotomy--the new standard of care? *J Urol*, 184: 1261-1266, 2010 10.1016/j.juro.2010.06.020
89. Portis AJ, Laliberte MA, Holtz C, Ma W, Rosenberg MS, Bretzke CA: Confident intraoperative decision making during percutaneous nephrolithotomy: does this patient need a second look? *Urology*, 71: 218-222, 2008 10.1016/j.urology.2007.08.063
90. Schulster M, Small AC, Silva MV, Abbott JE, Davalos JG: Endoscopic Combined Intrarenal Surgery Can Accurately Predict High Stone Clearance Rates on Postoperative CT. *Urology*, 133: 46-49, 2019 10.1016/j.urology.2019.08.026
91. Stroom SB, Yost A, Mascha E: Clinical implications of clinically insignificant stone fragments after extracorporeal shock wave lithotripsy. *J Urol*, 155: 1186-1190, 1996
92. Osman MM, Alfano Y, Kamp S, Haecker A, Alken P, Michel MS, et al.: 5-year-follow-up of patients with clinically insignificant residual fragments after extracorporeal shockwave lithotripsy. *Eur Urol*, 47: 860-864, 2005 10.1016/j.eururo.2005.01.005
93. El-Nahas AR, El-Assmy AM, Madbouly K, Sheir KZ: Predictors of clinical significance of residual fragments after extracorporeal shockwave lithotripsy for renal stones. *J Endourol*, 20: 870-874, 2006 10.1089/end.2006.20.870
94. Shigeta M, Kasaoka Y, Yasumoto H, Inoue K, Usui T, Hayashi M, et al.: Fate of residual fragments after successful extracorporeal shock wave lithotripsy. *Int J Urol*, 6: 169-172, 1999 10.1046/j.1442-2042.1999.06443.x

95. el-Nahas AR, Eraky I, Shokeir AA, Shoma AM, el-Assmy AM, el-Tabey NA, et al.: Factors affecting stone-free rate and complications of percutaneous nephrolithotomy for treatment of staghorn stone. *Urology*, 79: 1236-1241, 2012 10.1016/j.urology.2012.01.026
96. Atalay HA, Canat L, Bayraktarlı R, Alkan I, Can O, Altunrende F: Evaluation of stone volume distribution in renal collecting system as a predictor of stone-free rate after percutaneous nephrolithotomy: a retrospective single-center study. *Urolithiasis*, 46: 303-309, 2018 10.1007/s00240-017-0995-9
97. Kokov D, Manka L, Beck A, Winter A, Gerullis H, Karakiewicz PI, et al.: Only Size Matters in Stone Patients: Computed Tomography Controlled Stone-Free Rates after Mini-Percutaneous Nephrolithotomy. *Urol Int*, 103: 166-171, 2019 10.1159/000497442
98. Seitz C, Desai M, Häcker A, Hakenberg OW, Liatsikos E, Nagele U, et al.: Incidence, prevention, and management of complications following percutaneous nephrolitholapaxy. *Eur Urol*, 61: 146-158, 2012 10.1016/j.eururo.2011.09.016
99. Jiang K, Sun F, Zhu J, Luo G, Zhang P, Ban Y, et al.: Evaluation of three stone-scoring systems for predicting SFR and complications after percutaneous nephrolithotomy: a systematic review and meta-analysis. *BMC Urol*, 19: 57, 2019 10.1186/s12894-019-0488-y
100. Kingma RA, Voskamp MJH, Doornweerd BHJ, de Jong IJ, Roemeling S: Intraoperative cone beam computed tomography for detecting residual stones in percutaneous nephrolithotomy: a feasibility study. *Urolithiasis*, 49: 551-557, 2021 10.1007/s00240-021-01259-1
101. Rassweiler MC, Banckwitz R, Koehler C, Mueller-Allissat B, Michel MS, Häcker A, et al.: New developed urological protocols for the Uro Dyna-CT reduce radiation exposure of endourological patients below the levels of the low dose standard CT scans. *World J Urol*, 32: 1213-1218, 2014 10.1007/s00345-013-1195-z

## 7 TABELLARISCHER ANHANG

Aus dieser Arbeit ging folgende Publikation hervor:

Hartung F O, **Müller K J**, Herrmann J, Grüne B, Michel M S, Rassweiler-Seyfried M C. Comparison of endoscopic versus CT assessment of stone-free status after percutaneous nephrolithotomy (PCNL). Urolithiasis. 2023 Oct 6;51(1):120. doi: 10.1007/s00240-023-01495-7. PMID: 37801124



## Comparison of endoscopic versus CT assessment of stone-free status after percutaneous nephrolithotomy (PCNL)

F. O. Hartung<sup>1</sup> · K. J. Müller<sup>1</sup> · J. Herrmann<sup>1</sup> · B. Grüne<sup>1</sup> · M. S. Michel<sup>1</sup> · M. C. Rassweiler-Seyfried<sup>1</sup>Received: 19 August 2023 / Accepted: 20 September 2023  
© The Author(s) 2023

### Abstract

This study is aimed to determine whether postoperative low dose computed tomography (LDCT) imaging is necessary after percutaneous nephrolithotomy (PCNL), or the surgeon's intraoperative assessment of residual fragments (RF) is sufficient and avoidance of postoperative imaging with reduction of radiation exposure can be achieved. Data of all 610 patients who underwent PCNL in prone position in our institution from February 2009 to September 2020 was collected. Parameters such as age, gender, BMI, ASA-Classification, stone related parameters and the surgeon's assessment of stone-free status were analyzed. The LDCT performed postoperatively was compared to the intraoperative assessment of the surgeon regarding RF. The mean age of patients was 52.82 years; the mean BMI was 28.18 kg/m<sup>2</sup>. In 418 cases, the surgeon made a clear statement about the presence of RF and postoperative LDCT was carried out. The discrepancy between the two methods (surgeon's assessment vs. LDCT) was significant at  $p < 0.0001$ . The sensitivity, specificity, positive and negative predictive value of the surgeon when assessing RF were 24.05%, 99.45%, 98.28% and 50%. Stone free rate (SFR) after primary PCNL was 45.57%. The overall SFR at discharge was 96.23%. Although the surgeon's assessment of RF was reliable, postoperative LDCT imaging should still be performed if endoscopic stone clearance is suspected due to the high false negative rate and the low negative predictive value. The optimal timing of postoperative imaging following PCNL remains unclear.

**Keywords** Stone-free rate · Percutaneous nephrolithotomy · PCNL · Low-dose CT

### Introduction

Urolithiasis is one of the most common diseases worldwide with increasing prevalence and incidence in the recent decades [1–3]. Consequently, diagnosis, treatment

and prevention of stone recurrence are associated with significant costs [4]. Since the late 1980s, the percutaneous nephrolithotomy (PCNL) technique has been regarded as the standard therapy for large kidney stones with very good stone-free rates (SFR) [5, 6]. According to the European Association of Urology (EAU) guidelines, PCNL is the first-line therapy for kidney stones > 20 mm, whereas kidney stones between 10 and 20 mm can be treated by extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL), ureterorenoscopy (URS) and PCNL [7]. The objective of PCNL is to achieve stone-free-status (SFS) to minimize the risk of future stone-related events and accompanying surgeries and interventions [8]. However, residual fragments (RF) after PCNL are common [9]. To detect RF, imaging methods such as kidney-ureter-bladder radiography (KUB), sonography or low dose computed tomography (LDCT) can be used after the first intervention [9, 10]. Compared to KUB and sonography, LDCT might expose patients to higher doses of radiation but can be performed quickly, does not require contrast agent administration, and detects RF of all sizes with high sensitivity [11, 12]. Only few studies have investigated the

✉ F. O. Hartung  
friedrich.hartung@umm.deK. J. Müller  
kim.mueller1997@gmx.deJ. Herrmann  
jonas.herrmann@umm.deB. Grüne  
britta.gruene@umm.deM. S. Michel  
Maurice-Stephan.Michel@medma.uni-heidelberg.deM. C. Rassweiler-Seyfried  
Marie-Claire.Rassweiler@medma.uni-heidelberg.de<sup>1</sup> Department of Urology and Urologic Surgery, University Medical Center Mannheim, University of Heidelberg, Theodor-Kutzer-Ufer 1-3, 68167 Mannheim, Germany

correlation between intraoperative SFS defined by the surgeon compared with postoperative LDCT [13, 14].

The aim of this study is to investigate how reliable the surgeon's intraoperative assessment of SFS is and to clarify whether an additional postoperative LDCT is necessary.

## Materials and methods

### Study design and parameters

Data was retrieved retrospectively from all 716 patients who received a percutaneous stone removal from 18.02.2009 to 21.09.2020 at the Department of Urology and Urological Surgery at the University Medical Center Mannheim (institutional review board approval 2020-837R).

We evaluated preoperative parameters such as age at surgery, body mass index (BMI), gender, American Society of Anesthesiologists (ASA)-Classification, preoperative via CT determined stone characteristics (side, quantity, intrarenal localization, size), the Guy's stone score (GSS) as well as following intraoperative and postoperative parameters: positioning of the patient, bore size, operating time, surgeon's intraoperative assessment of SFS, postoperative CT-graphical assessment of SFS after PCNL, reintervention rate and intraoperative assessment of RF size (> 4 mm)/no stone detection) in case of an additional intervention. If, according to postoperative imaging, RF were still present, their location, amount and size were determined. Regarding the size, a distinction was made between significant (> 4 mm) and non-significant ( $\leq$  4 mm) RF. This classification was based on a study by Hubner et al. from 1993 analyzing the incidence of

spontaneous stone passage (SPP) relating both stone size and location [15]. The following exclusion criteria were defined: other than prone position, complementary surgery such as URS, missing surgical record, age < 16 years (Fig. 1). PCNL other than in prone position was excluded from this study to provide uniform interventions.

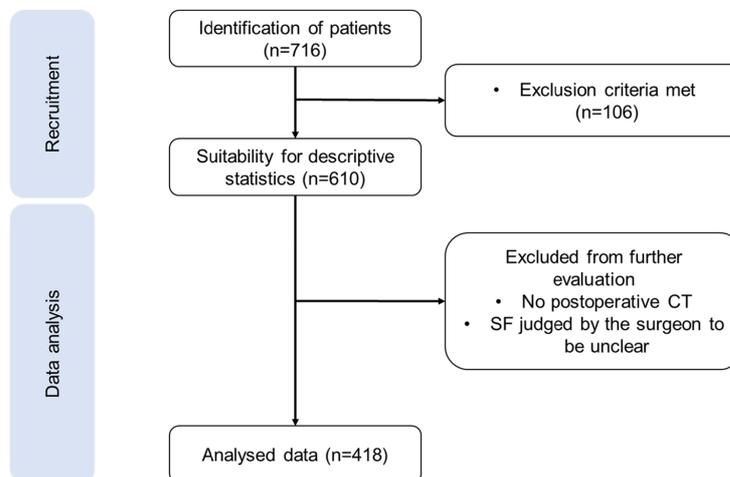
Out of our collected database, following variables were used for statistical analysis: stone-free-status assessed by the surgeon and according to the postoperative LDCT, size of the RF (< 4 mm), stone free rate after the first procedure and on dismissal.

Only cases with a postoperative CT-graphic classification of RF into significant (> 4 mm) and not significant ( $\leq$  4 mm), as well as an intraoperative assessment by the surgeon into relevant RF (> 4 mm) and no stone detection were considered. No patient in this study had spina bifida or spinal injury and only complete staghorn stones were rated as GSS IV.

### Procedures

PCNL was performed by experienced surgeons with at least 50 cases, or under the supervision of an experienced surgeon. All cases were performed in prone position and under general anesthesia. Renal puncture was performed under ultrasonographic and fluoroscopic guidance. Different nephroscope (Karl Storz, Tuttlingen, Germany) sizes from 4,8 Ch to 32 Ch were used. Standard PCNL had a bore size of 24–32 Ch, mini-PCNL of 14–22 Ch, ultra-mini-PCNL of 11–13 Ch and micro-PCNL of < 11 Ch. Stones were removed in toto or after laser, ultrasonographic or pneumatic fragmentation. SFR was judged at the end of the

Fig. 1 Selection chart



procedure via fluoroscopy or flexible antegrade nephroscopy through the tract by the surgeon and based on his preference a nephrostomy tube or a ureteral stent was placed. Postoperative imaging was routinely performed on the first postoperative day and was evaluated by the radiologists. If the radiologist described RF without details regarding the size, the size was labeled as “not specified” in this study. Papilla calcifications were not considered as RF. Regarding the operation time, a distinction was made between a longer duration of surgery ( $\geq 110$  min) and a shorter duration of surgery ( $< 110$  min). This cut-off resulted from the median of the statistical analysis.

**Statistical analysis**

For external data analysis, the Data Export Tool was used to export the collected data from the REDCap system to an Excel database. The statistical analysis was performed with JMP® version 14 (SAS Institute Inc., Cary, NC).

All parameters are presented as mean  $\pm$  standard deviation (SD) in case of continuous data. For binary parameters, absolute and relative frequencies are given.

The McNemar test was used to compare the nominally scaled variables of the intraoperative and CT graphical assessment of SFS. A p-value  $< 0.05$  was considered statistically significant. In addition, general values of sensitivity, specificity and predictive values were determined. The predictive values were calculated based on the prevalence determined in the CT.

For the analysis of influencing factors for a discordance between the surgeon’s and postoperative CT graphic assessment of SFS, a group comparison was carried out. Various factors were compared with the Pearson Chi-square test between cases of concordant and discordant stone-free status.

A univariable and a multivariable logistic regression analysis was performed to investigate the influence of various factors on the postoperative RF rate. In both univariable and multivariable analysis, an odds ratio (OR) was used as a measure of risk and its 95% confidence interval (95% CI).

**Results**

The descriptive analysis included a total of 610 PCNL interventions performed between February 2009 and September 2020 (Fig. 1). Patient’s characteristics, as well as intraoperative and postoperative patient’s cohort parameters, are presented in Table 1. In 126 cases, no postoperative imaging was performed because additional surgical interventions were planned or SFS was diagnosed by the surgeon and a CT was not necessary (e.g. in recurrent stone formers) or

**Table 1** Patient’s characteristics and perioperative parameters

| Variables  |                   |
|--|-------------------|
| <b>Patient’s characteristics</b>                   |                   |
| Age (in years), Mean $\pm$ SD                      | 52.82 $\pm$ 14.90 |
| Gender (n=610), n (%)                              |                   |
| Male   | 378 (61.97)       |
| Female   | 232 (38.03)       |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ), (n = 460), Mean $\pm$ SD | 28.18 $\pm$ 5.91  |
| Side of stone localisation (n = 610), n (%)        |                   |
| Right  | 254 (41.64)       |
| Left   | 354 (58.03)       |
| Bilateral  | 2 (0.33)          |
| Number of stones (n=610), n (%)                    |                   |
| 1  | 311 (50.98)       |
| 2  | 102 (16.72)       |
| 3  | 59 (9.67)         |
| 4  | 26 (4.26)         |
| $\geq 5$   | 102 (16.72)       |
| Not specified                                      | 10 (1.64)         |
| Stone localisation (n = 610), n (%)                |                   |
| Upper calyx  | 131 (21.48)       |
| Middle calyx                                       | 119 (19.51)       |
| Lower calyx  | 330 (54.10)       |
| Renal pelvis                                       | 375 (61.48)       |
| Staghorn stone                                     | 136 (22.30)       |
| Ureter   | 71 (11.64)        |
| Not specified                                      | 9 (1.48)          |
| Maximum stone size (diameter in mm), Mean $\pm$ SD |                   |
| Upper calyx group (n=72)                           | 14.67 $\pm$ 12.68 |
| Middle calyx group (n = 71)                        | 12.86 $\pm$ 9.16  |
| Lower calyx group (n = 260)                        | 13.04 $\pm$ 7.89  |
| Renal pelvis (n = 308)                             | 18.80 $\pm$ 10.93 |
| Staghorn stone (n = 81)                            | 28.06 $\pm$ 15.88 |
| Ureters (n = 50)                                   | 10.42 $\pm$ 7.99  |
| Not specified (n = 5)                              | 12.00 $\pm$ 7.31  |
| Guy’s stone score (n = 610), n (%)                 |                   |
| 0  | 1 (0.16)          |
| I  | 187 (30.66)       |
| II   | 234 (38.36)       |
| III  | 170 (27.87)       |
| IV   | 18 (2.95)         |
| ASA-Classification (n = 610), n (%)                |                   |
| I  | 130 (21.31)       |
| II   | 352 (57.70)       |
| III  | 117 (19.18)       |
| IV   | 11 (1.80)         |
| <b>Intraoperative parameters</b>                   |                   |
| Bore size (n=572), n (%)                           |                   |
| Standard PCNL                                      | 330 (57.69)       |
| Mini-PCNL  | 240 (41.96)       |
| Ultra-mini-PCNL                                    | 1 (0.17)          |
| Micro-PCNL   | 1 (0.17)          |

**Table 1** (continued)

| Variables                                 |                |
|---|----------------|
| Fragmentation (n=610), n (%)              |                |
| No fragmentation                          | 129 (21.15)    |
| Laser                                     | 272 (44.59)    |
| Pneumatic                                 | 5 (0.82)       |
| Ultrasound                                | 239 (39.18)    |
| Not specified                             | 19 (3.12)      |
| Operation time (min), (n=591), Mean ± SD  |                |
|   | 115.93 ± 43.57 |
| SFS judged by surgeon (n=610), n (%)      |                |
| RF  | 153 (25.08)    |
| No RF                                     | 445 (72.95)    |
| Not specified                             | 12 (1.97)      |
| Postoperative parameters                  |                |
| Length of hospital stay (days), Mean ± SD |                |
|   | 4.61 ± 3.46    |
| Postoperative imaging (n=484), n (%)      |                |
| LDCT                                      | 429 (88.64)    |
| Intraoperative Dyna-CT                    | 1 (0.21)       |
| Sonography                                | 1 (0.21)       |
| X-ray                                     | 76 (15.70)     |
| Other                                     | 2 (0.41)       |
| Size of RF (in mm) (n=348), n (%)         |                |
| >4mm                                      | 141 (40.52)    |
| ≤4mm                                      | 114 (32.76)    |
| Not specified                             | 93 (26.72)     |

an ordered CT was not available or a CT was performed 3–4 weeks postoperatively in an outpatient setting.

**Analysis: Intraoperative versus CT graphic assessment of SFS**

In 418 cases, the surgeon made a clear statement about the presence of RF and a postoperative LDCT was carried out. RF were detected more frequently with postoperative LDCT (n=237) than the surgeon judged intraoperatively (n=58), resulting in a significant difference between the two methods in the McNemar test (p<0.0001). Conformity between both methods (surgeon vs. LDCT) is low with a kappa index of 0.21.

**Fig. 2** McNemar Test comparing intraoperative and CT graphic assessment of SFS

|                      | CT RF                       | CT No RF                  |                     |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| <b>Surgeon RF</b>    | 57                          | 1                         | <b>PPV = 98.28%</b> |
| <b>Surgeon No RF</b> | 180                         | 180                       | <b>NPV = 50%</b>    |
|                      | <b>Sensitivity = 24.05%</b> | <b>Specifity = 99.45%</b> |                     |

The sensitivity, specificity, positive and negative predictive value (PPV/NPV) of the surgeon in the assessment of RF is shown in Fig. 2. Out of the 180 cases wrongly judged by the surgeon to be stone-free, 53.33% had RF size ≤4 mm, 38.89% had RF size >4 mm and in 7.78% no information was given regarding RF size.

**Stone free rate after initial PCNL and at discharge**

SFR after the initial PCNL was 45.57% (n=278). In 22 cases (3.61%) no RF was detected in an additional procedure. Including the RF ≤4 mm without the need of an additional intervention (n=72, 11.80%), this resulted in a total SFR of 57.37% after primary PCNL.

The overall SFR at discharge was 96.23% (n=587) after secondary procedures such as URS or another PCNL in the same inpatient stay.

**Discussion**

A study by Harraz et al. from 2017 analyzed data from 306 patients undergoing PCNL which showed that the sensitivity of the intraoperative assessment of SFS by the surgeon was 49.6% and the PPV was 92.8% (specificity: 97.1% NPV: 72%) [16]. In 2018 Nevo et al. analysed data from 312 patients undergoing PCNL. In this study RF <4 mm were additionally evaluated as stone-free by the surgeon as well as by postoperative imaging. The NPV of the surgeon’s assessment for SFS was 100% (sensitivity: 100%, specificity: 12.5%, PPV: 75%) [14]. In another study, conducted by Jannello et al. in 2022, the match rate between intraoperative SFS and CT-based SFS was determined after vacuum-assisted PCNL [13]. In this study the surgeon was able to accurately predict SFS in 77% of cases. Our results support the high false negative rate and low NPV, which in this study was 50%. Patients with kidney abnormalities and large stones were included in our study, and stones were defined as RF regardless of their size. In addition, it must be noted that in the context of early postoperative imaging, just as with our study, false-positive CT findings e.g. stone dust are possible, which can influence the NPV. Then again if CT

imaging is performed 3 months postoperatively, as in the study by Jannello et al. RF can spontaneously go off or even increase in size in the time between surgery and imaging. The EAU recently updated its guidelines and recommends that regular imaging (plain film X-ray and/or sonography) should take place up to 60 months after treatment in case of RF, independent of their size. CT should be considered if patient is symptomatic or if intervention is planned [7]. Regarding RF and aftercare, it can be mentioned at this point that there is only limited data regarding spontaneous stone passage (SSP) according to stone size in case of a RF outlet into the ureter. A study by Yallappa et al. from 2018 analysed 6600 patients with ureteral stones and showed that SPP was reported for 68% of distal ureteral stones, 58% of mid ureteral stones and 49% of upper ureteral stones. Considering stone size almost 75% of stones < 5 mm and 62% of stones > 5 mm passed spontaneously in this study [17]. A more recent multi-center study by Shah et al. from 2019 reported SPP for ureteral stones  $\leq 5$  mm to be 89% if localized in the distal ureter, 80% if localized in the middle ureter and 71% if localized in the upper ureter [18].

In their studies, Harraz et al. Nevo et al. and Jannello et al. also addressed predictors for an accurate surgeon's assessment regarding RF. Harraz et al. were able to show that a low GSS had the highest predictive power for a correct surgeon's assessment for the absence of RF in a multivariate analysis. Nevo et al. showed that the surgeon had missed RF more frequently in patients with increasing stone size and quantity. Jannello et al. were able to identify a larger stone volume, a higher rate of multiple stones, a higher rate of several calyx-groups affected by stones, and a higher rate of GSS II degrees as independent predictors of a discordant stone-free status. Our results confirm the results of Jannello et al. regarding the number of stones and the affected groups of calyces as well as the results of Nevo et al. regarding the number of stones.

Our multivariable logistic regression analysis shows that an operation time of  $\geq 110$  min, a GSS degree  $\geq$  II and an initial maximum stone size  $\geq 15$  mm was associated with a higher rate of postoperative RF. ASA-Classification and bore size was not associated with a higher rate of postoperative RF in our multivariable logistic regression analysis.

The results of this study show that despite the surgeon's ability to detect RF as such after PCNL, postoperative imaging is still necessary to avoid missing RF. Instead of postoperative CT, intraoperative imaging with low radiation exposure, which is sensitive for the assessment of RF, could be performed. The surgeon's intraoperative assessment of stone-free status would thus be supported by imaging and an improvement in the SFR could be achieved.

The Uro Dyna-CT (ArtisZee Siemens Healthcare Sector, Erlangen, Germany) already exists for the intraoperative detection of RF. It causes lower radiation exposure at

CT-like image quality when identifying kidney stones compared to standard CT [19]. Meister et al. showed that RF can be detected using the Uro Dyna-CT and their size can be measured intraoperatively with high accuracy. In 2017 Vincentini et al. reported a case in which Uro Dyna-CT was performed intraoperatively with simultaneous removal of fragments residual stones that were not found by digital fluoroscopy and flexible nephroscopy at the end of surgery [20]. However, installing this system is costly and not widely available [10].

At this point, the possibility of endoscopic combined intrarenal surgery (ECIRS) should also be considered, which, according to a meta-analysis by Widyokirono et al. [21], is an effective and safe treatment particularly for large and complex nephrolithiasis, with significantly higher one-step SFR, a lower necessity for auxiliary procedures, and a lower complication rate compared with PCNL.

This study has limitations due the retrospective design and the uniceptic location. The preoperatively collected data on the affected side and the stone location did only provide information about the stones that were planned to be removed as part of the PCNL procedure. Furthermore, a patient could have been treated several times with PCNL in the context of different stone episodes, which leads to limitations in the descriptive statistics of patient history data. Furthermore, nephroscopy was performed antegrade through the tract which may have less adequate access to all calyces as opposed to a supine approach with a flexible ureteroscope.

## Conclusions

The surgeon's intraoperative evaluation on its own is not reliable in evaluating the absence RF. We recommend performing LDCT after PCNL to ensure a stone free status. LDCT may be omitted, if the surgeon reports intraoperative RF. Measures to improve SFR after the first intervention should be taken such as antegrade and retrograde nephroscopy and intraoperative CT imaging if available.

**Acknowledgements** None

**Author contribution** HFO: manuscript writing, data analysis. MKJ: data collection, protocol development, data analysis. HJ: data analysis, protocol development. GB.: critical revision of manuscript, data analysis. MMS: critical revision of manuscript. RSMC: critical revision of manuscript, protocol development, data collection, data analysis, supervision.

**Funding** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. This manuscript did not receive any funding.

## Declarations

**Conflicts of interest** Friedrich O. Hartung, Kim Julia Müller, Britta Gruene, Jonas Herrmann, Maurice S. Michel and Marie-Claire Rassweiler-Seyfried have no conflicts of interest or financial ties to disclose.

**Ethical approval** The study received the ethics approval by the Ethikkommission II Medizinische Fakultät Mannheim (Germany) and received an authorization as of May 2020 with the trial registration ID: 2020-837R. Research was conducted ethically in accordance with the World Medical Association Declaration of Helsinki. Due to the purely retrospective data evaluation, no consent of the patients was required according to the ethics committee.

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## References

- Dwyer ME, Krambeck AE, Bergstralh EJ, Milliner DS, Lieske JC, Rule AD (2012) Temporal trends in incidence of kidney stones among children: a 25-year population based study. *J Urol* 188(1):247–252. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2012.03.021>
- Scales CD Jr, Smith AC, Hanley JM, Saigal CS, P. (2012) Urologic diseases in America. prevalence of kidney stones in the United States. *Eur Urol* 62(1):160–165. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2012.03.052>
- Hesse A, Brandt E, Wilbert D, Kohrmann KU, Alken P (2003) Study on the prevalence and incidence of urolithiasis in Germany comparing the years 1979 vs. 2000. *Eur Urol* 44(6):709–713. [https://doi.org/10.1016/s0302-2838\(03\)00415-9](https://doi.org/10.1016/s0302-2838(03)00415-9)
- Roberson D, Sperling C, Shah A, Ziemba J (2020) Economic considerations in the management of nephrolithiasis. *Curr Urol Rep* 21(5):18. <https://doi.org/10.1007/s11934-020-00971-6>
- Giusti G et al (2007) Miniperc? No, thank you! *Eur Urol* 51(3):810–814. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2006.07.047>. (Discussion 815)
- Wilhelm K, Fritsche HM, Netsch C, A. G. E. u. U. d. G. Academics (2015) Percutaneous stone treatment today: standard-, mini-, micro-, ultramini-PCNL. *Aktuelle Urol* 46(4):297–302. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555863>. (Perkutane steintherapie heute: standard-, mini-, micro-, ultramini-PCNL)
- EAU, *EAU Guidelines*. EAU Guidelines Office, 2022.
- Gokce MI, Gulpinar O, Ibis A, Karaburun M, Kubilay E, Suer E (2019) Retrograde vs antegrade flexible nephroscopy for detection of residual fragments following PNL: a prospective study with computerized tomography control. *Int Braz J Urol* 45(3):581–587. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2018.0695>
- Acar C, Cal C (2012) Impact of residual fragments following endourological treatments in renal stones. *Adv Urol* 2012:813523. <https://doi.org/10.1155/2012/813523>
- Meister B, Rassweiler MC, Weiss C, Hacker A, Ritter M (2015) Accuracy in detecting and measuring residual fragments with the Uro Dyna-CT. *World J Urol* 33(7):1039–1043. <https://doi.org/10.1007/s00345-014-1385-3>
- Heneghan JP, McGuire KA, Leder RA, DeLong DM, Yoshizumi T, Nelson RC (2003) Helical CT for nephrolithiasis and ureterolithiasis: comparison of conventional and reduced radiation-dose techniques. *Radiology* 229(2):575–580. <https://doi.org/10.1148/radiol.2292021261>
- Park J, Hong B, Park T, Park HK (2007) Effectiveness of non-contrast computed tomography in evaluation of residual stones after percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol* 21(7):684–687. <https://doi.org/10.1089/end.2006.0352>
- Jannello LMI et al (2022) Urologists are optimistic surgeons: prevalence and predictors of discordance between intraoperative stone-free rate and cross-sectional imaging evaluation after vacuum-assisted mini-percutaneous nephrolithotomy. *World J Urol* 40(9):2331–2338. <https://doi.org/10.1007/s00345-022-04091-3>
- Nevo A et al (2018) How Reliable is the intraoperative assessment of residual fragments during percutaneous nephrolithotomy? A prospective study. *J Endourol* 32(6):471–475. <https://doi.org/10.1089/end.2018.0005>
- Hubner WA, Irby P, Stoller ML (1993) Natural history and current concepts for the treatment of small ureteral calculi. *Eur Urol* 24(2):172–176. <https://doi.org/10.1159/000474289>
- Harratz AM et al (2017) Residual stones after percutaneous nephrolithotomy: comparison of intraoperative assessment and post-operative non-contrast computerized tomography. *World J Urol* 35(8):1241–1246. <https://doi.org/10.1007/s00345-016-1990-4>
- Yallappa S et al (2018) Natural history of conservatively managed ureteral stones: analysis of 6600 patients. *J Endourol* 32(5):371–379. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0848>
- Shah TT et al (2019) Factors associated with spontaneous stone passage in a contemporary cohort of patients presenting with acute ureteric colic: results from the multi-centre cohort study evaluating the role of inflammatory markers in patients presenting with acute ureteric Colic (MIMIC) study. *BJU Int* 124(3):504–513. <https://doi.org/10.1111/bju.14777>
- Rassweiler MC et al (2014) New developed urological protocols for the Uro Dyna-CT reduce radiation exposure of endourological patients below the levels of the low dose standard CT scans. *World J Urol* 32(5):1213–1218. <https://doi.org/10.1007/s00345-013-1195-z>
- Vicentini FC, Botelho LAA, Braz JLM, Almeida ES, Hisano M (2017) Use of the Uro Dyna-CT in endourology - the new frontier. *Int Braz J Urol* 43(4):762–765. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2016.0413>
- Widyokirono DR, Klopung YP, Hidayatullah F, Rahman ZA, Ng AC, Hakim L (2022) Endoscopic combined intrarenal surgery vs percutaneous nephrolithotomy for large and complex renal stone: a systematic review and meta-analysis. *J Endourol* 36(7):865–876. <https://doi.org/10.1089/end.2021.0761>

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## 8 LEBENS LAUF

### PERSONALIEN

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Name und Vorname | Müller, Kim Julia |
| Geburtsdatum     | 22.02.1997        |
| Geburtsort       | Bad Saulgau       |

### SCHULISCHER WERDEGANG

|             |  |
|-------------|--|
| 2007 – 2015 | Katholisches Freies Gymnasium St. Konrad, Ravensburg |
| 19.06.2015  | Abitur   |

### UNIVERSITÄRER WERDEGANG

|            |   |
|------------|---|
| WS 2016    | Beginn Studium Humanmedizin<br>Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Fakultät Mannheim |
| 06.09.2018 | Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (M1)  |
| 07.04.2022 | Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (M2)   |
| 06.06.2023 | Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (M3)   |
| 26.07.2023 | Approbation als Ärztin  |

## 9 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen danken, die mich bei der Bearbeitung meiner Doktorarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau PD Dr. Rassweiler-Seyfried für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die ausgezeichnete Betreuung bei der Umsetzung der gesamten Arbeit.

Außerdem möchte ich mich bei Frau Khalil für Ihre Unterstützung bei der Anfertigung der REDCap-Datenfelder bedanken.

Auch möchte ich Frau Prof. Dr. Weiß und Frau Dr. Grüne meinen Dank aussprechen, die mich im Rahmen der statistischen Auswertung unterstützt haben.

Besonderen Dank schulde ich Jan Schlenker für die Durchsicht meiner Arbeit und die vielen Hinweise, die zur Vollendung derselben notwendig waren.

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern danken, die mich auf meinem Weg durch das Studium begleitet haben und mir während der Anfertigung der Doktorarbeit immerzu unterstützend und liebevoll zur Seite standen.