



# Kardiale Bildgebung: Nuklearmedizin

Prof. Dr. med. Ronny R. Büchel

Stv. Klinikdirektor

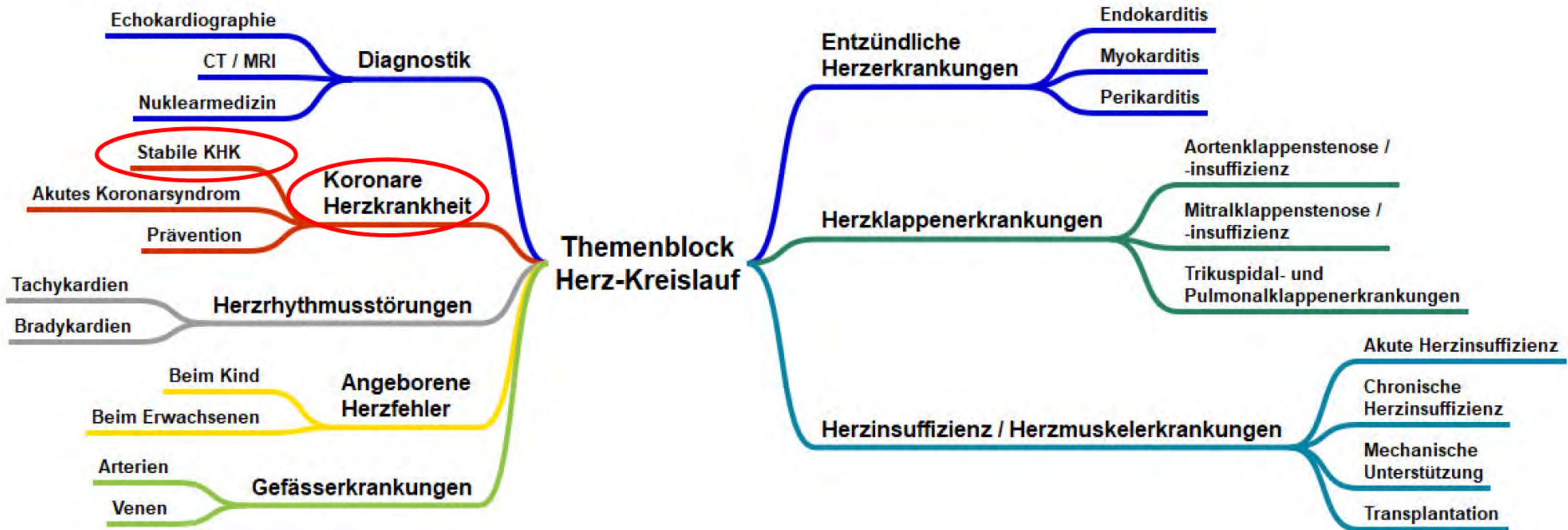
Klinik für Nuklearmedizin

Universitätsspital Zürich

[nuklearmedizin@usz.ch](mailto:nuklearmedizin@usz.ch)

[herzbildgebung@usz.ch](mailto:herzbildgebung@usz.ch)

## Mindmap



# Kardiale Bildgebung: Nuklearmedizin

## Lernziele der Lektion

1. Sie können die grundsätzlichen Methoden zur nuklearmedizinischen kardialen Bildgebung im Setting der vermuteten oder bekannten koronaren Herzkrankheit beschreiben.
2. Sie kennen den Stellenwert der funktionellen Abklärung im Management der koronaren Herzkrankheit.
3. Sie kennen den Stellenwert dieser Methoden, d.h. sie können abschätzen, bei welchen Patienten welche Untersuchung nützlich sein könnte.



## Inhaltsverzeichnis

- Ein Wort zur Vortestwahrscheinlichkeit
- Myokardperfusionsszintigraphie (SPECT)
- Positronenemissionstomographie (PET)
- Wahl der besten Abklärungsstrategie bei vermuteter koronarer Herzkrankheit

## Vermutete koronare Herzkrankheit

### 1. Anamnese, körperliche Untersuchung, EKG, Labor







**CT**



**Echo**



**SPECT**



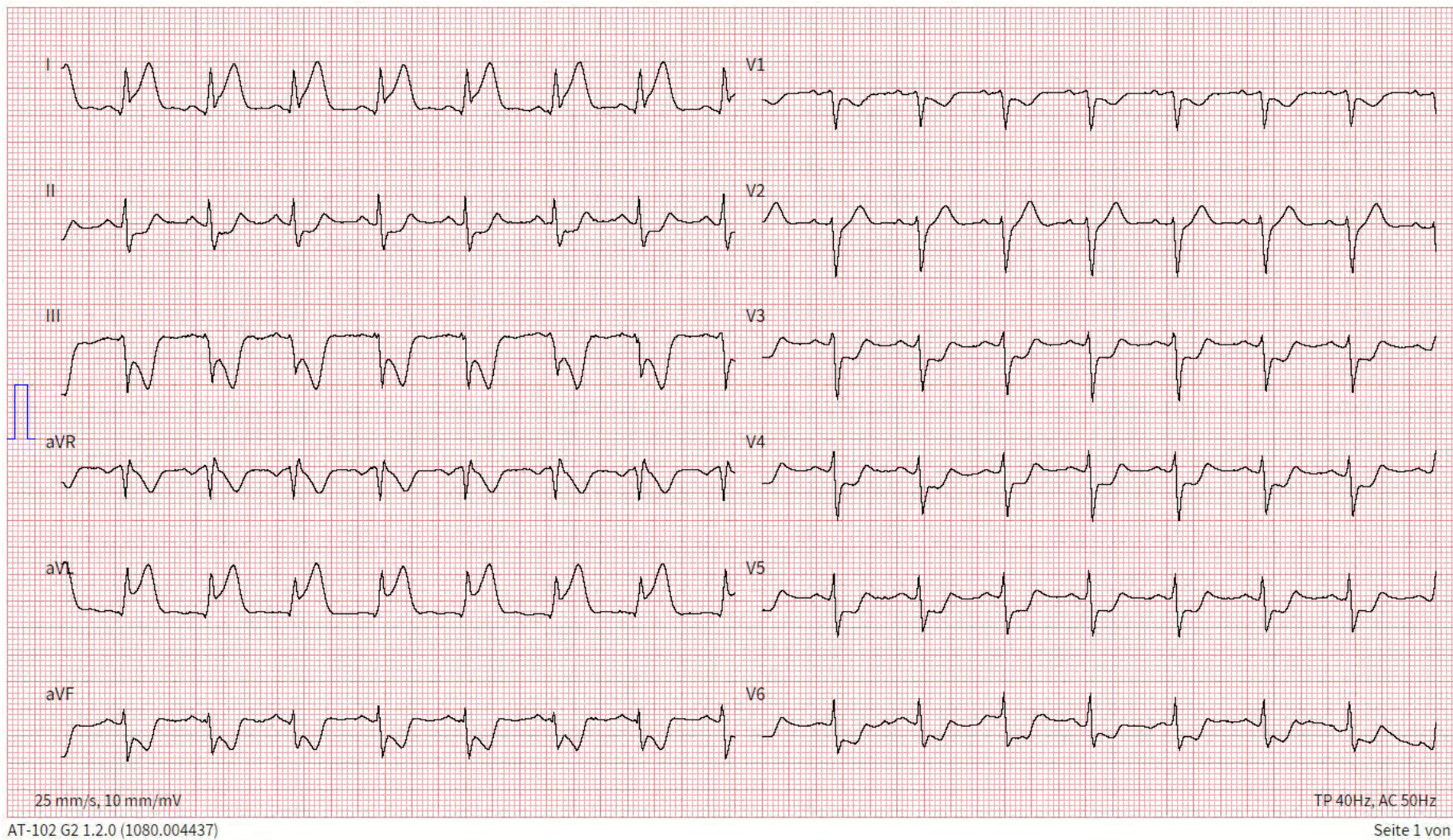
**PET**



**MR**



## Es sei denn...



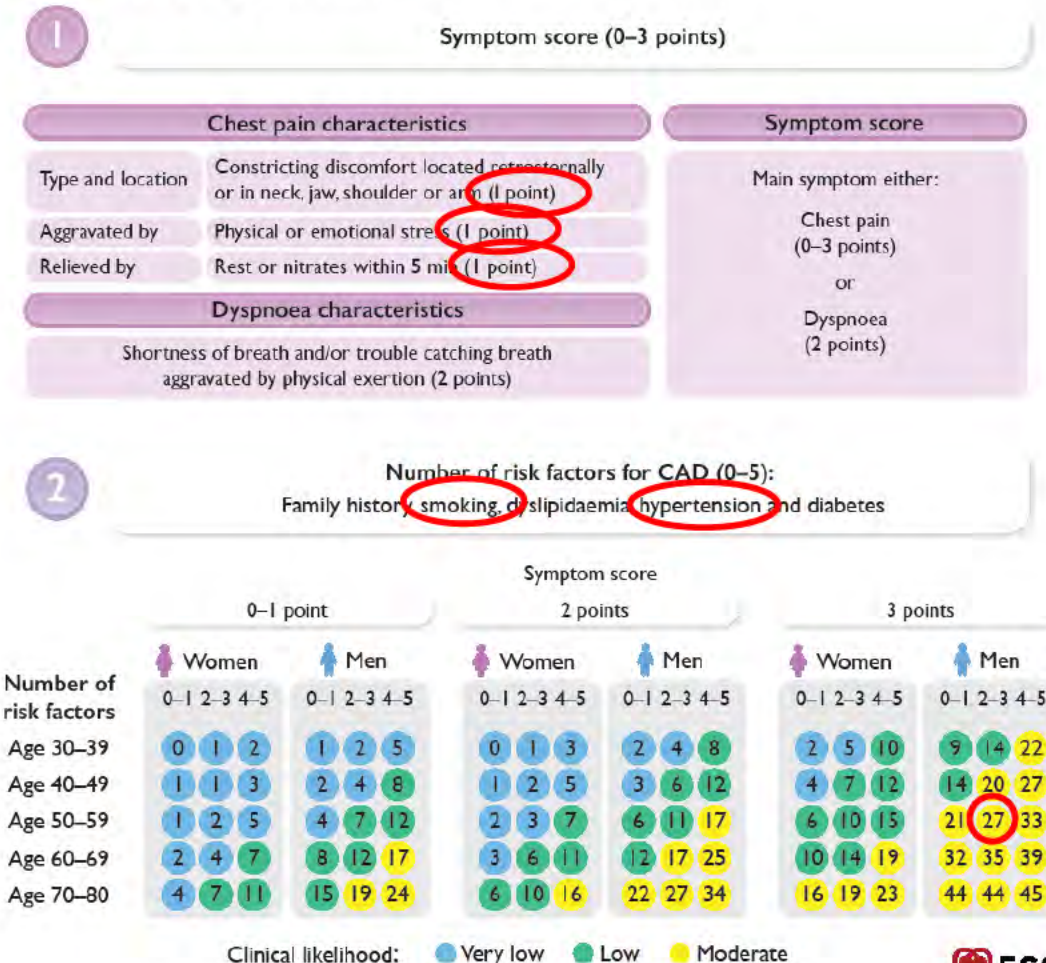


## Die Vortestwahrscheinlichkeit

- 51-jähriger Patient
- Druck hinter der Brust beim raschen Treppensteigen
- Sistiert innert 1-2 Minuten nach Einlegen einer Pause
- Risikofaktoren: Arterielle Hypertonie und Nikotin
- EKG unauffällig, Labor (inkl. Troponin) unauffällig

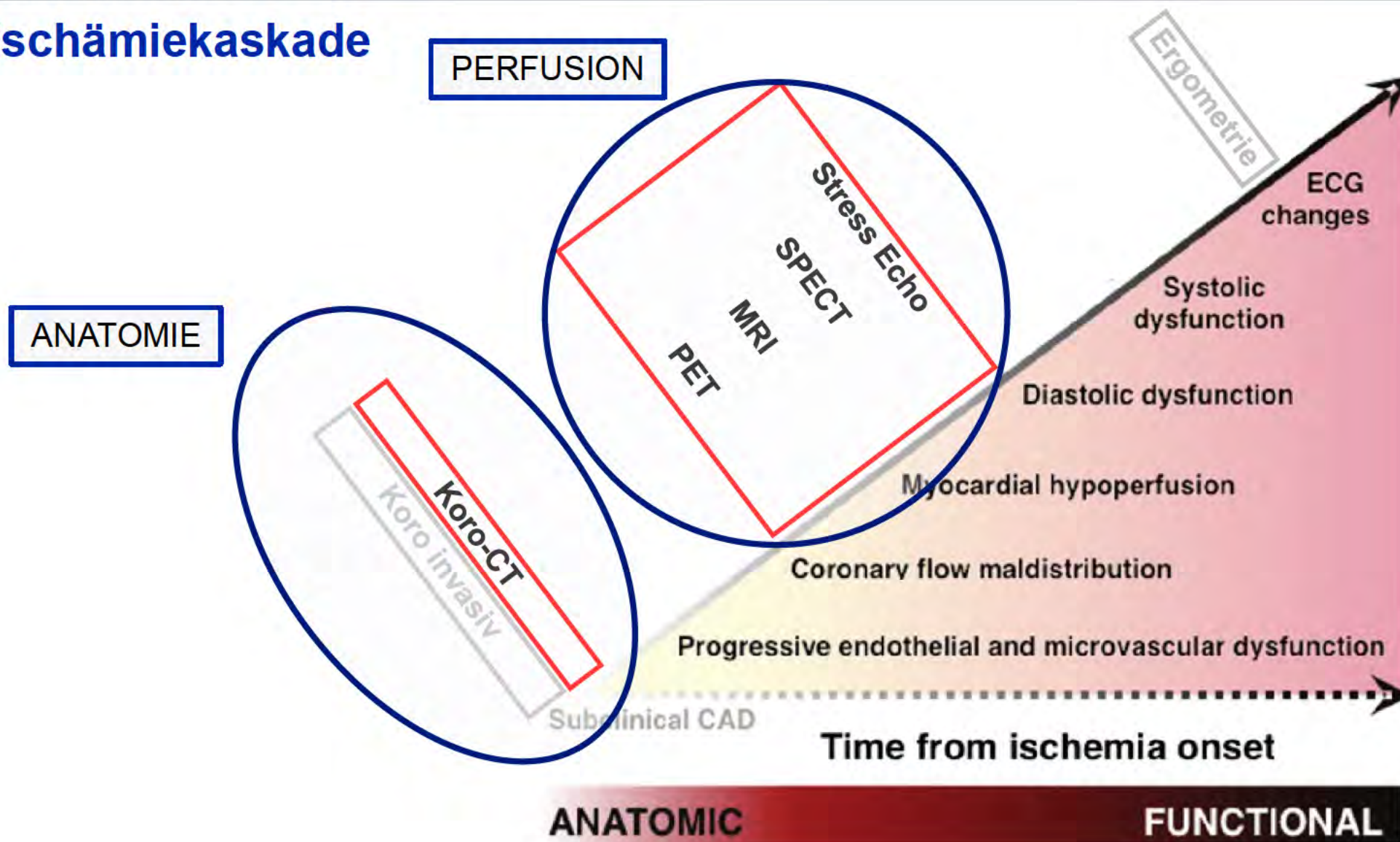


### 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes

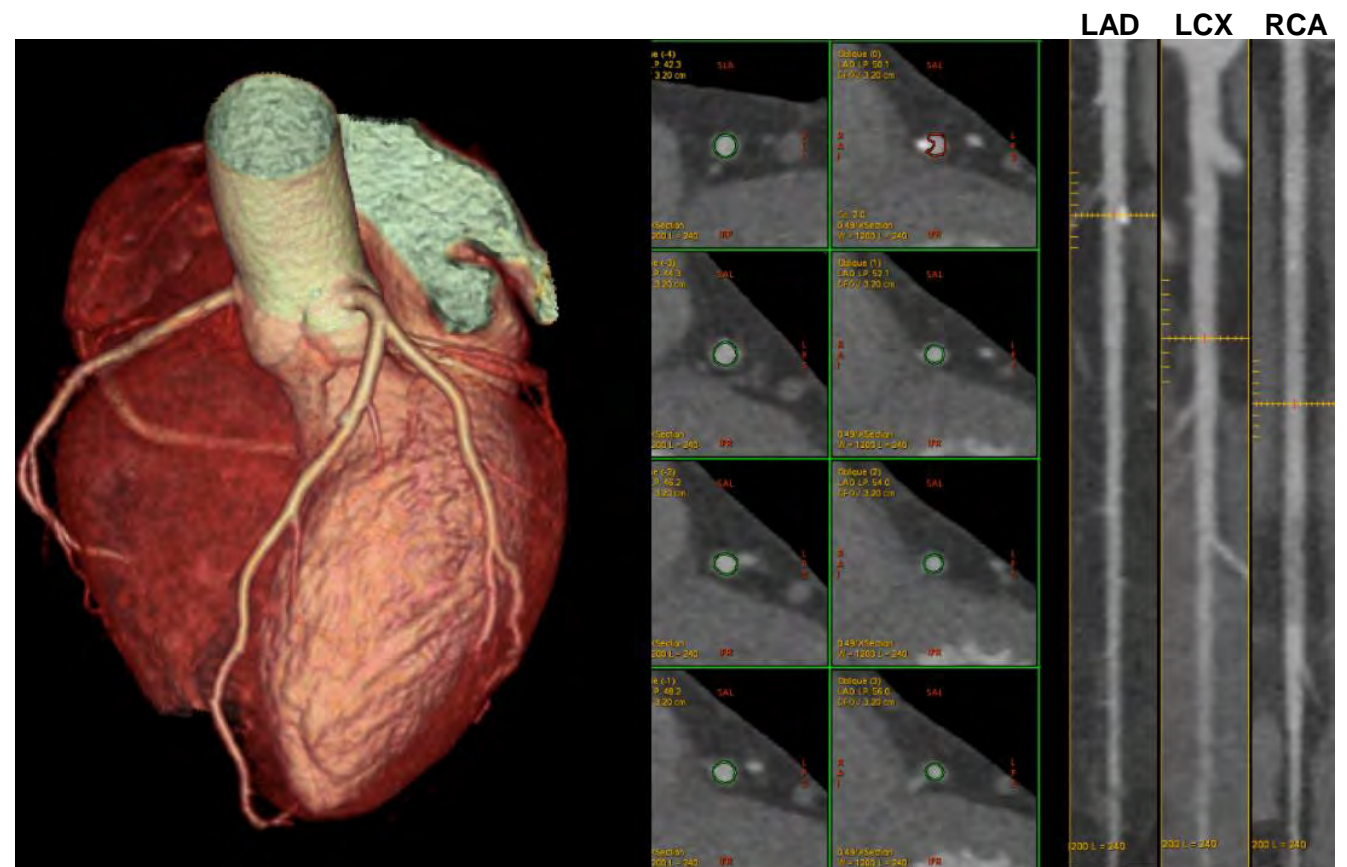
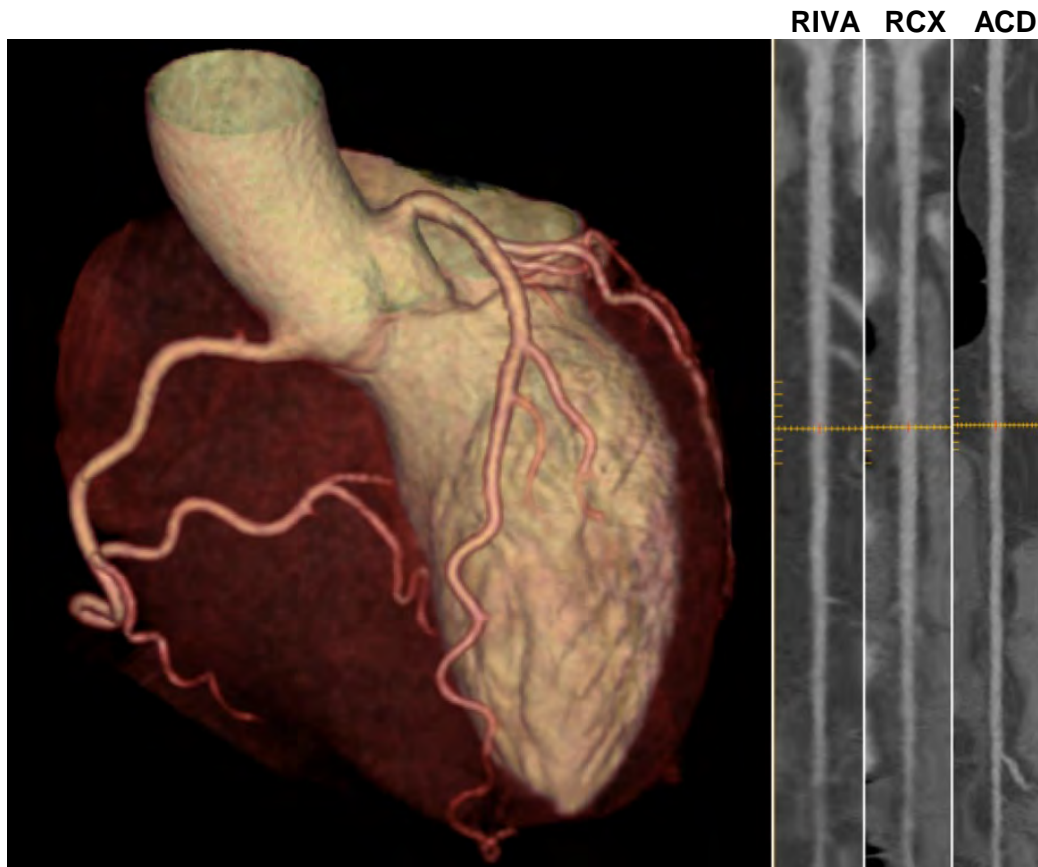




## Ischämiekaskade

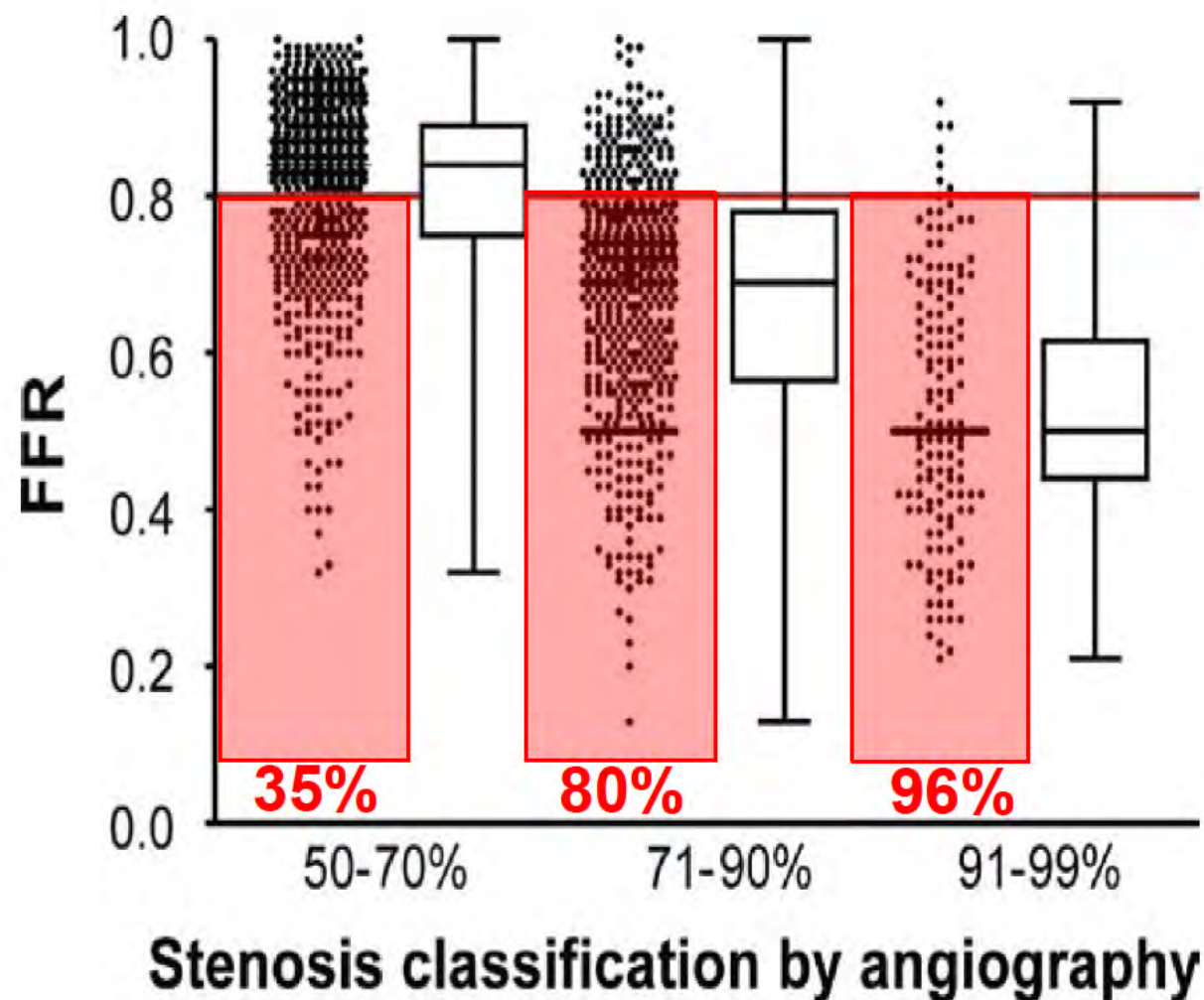
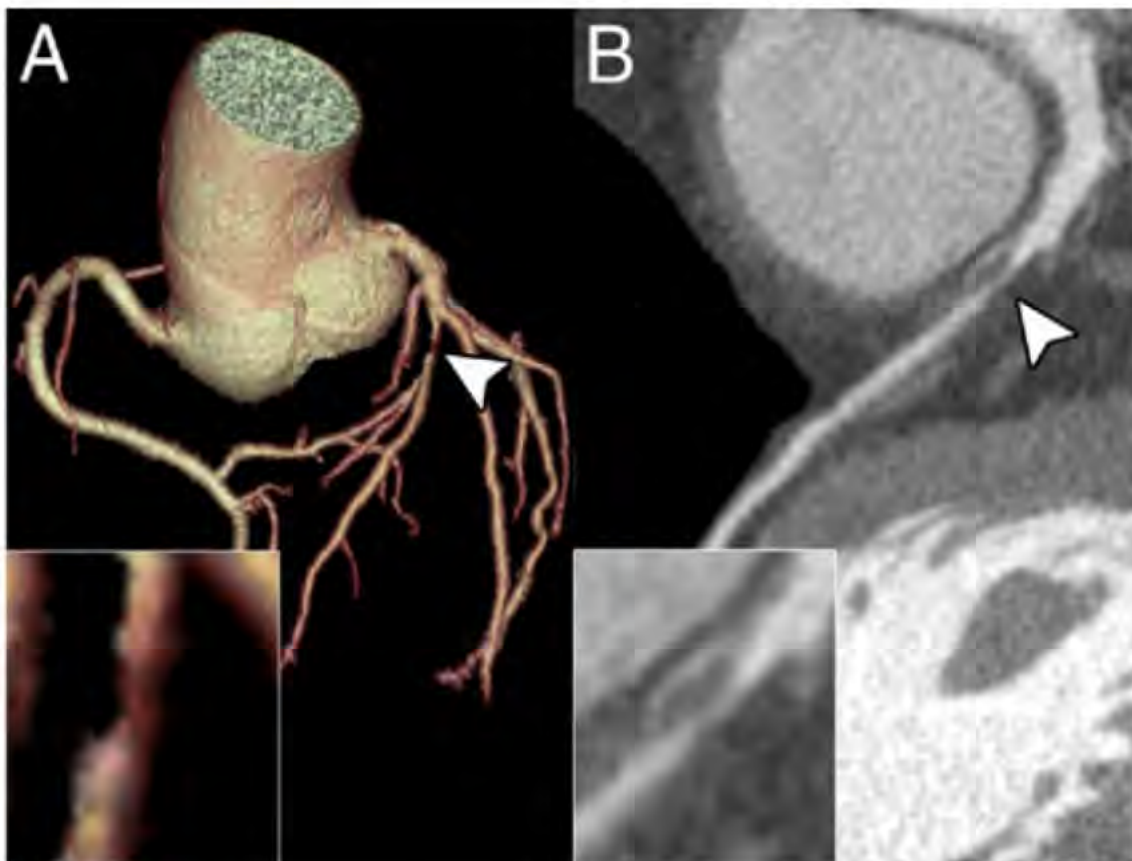


**Die Vortestwahrscheinlichkeit bei vermuteter KHK ist tief. Daher steht oftmals der Ausschluss einer KHK im Vordergrund.**

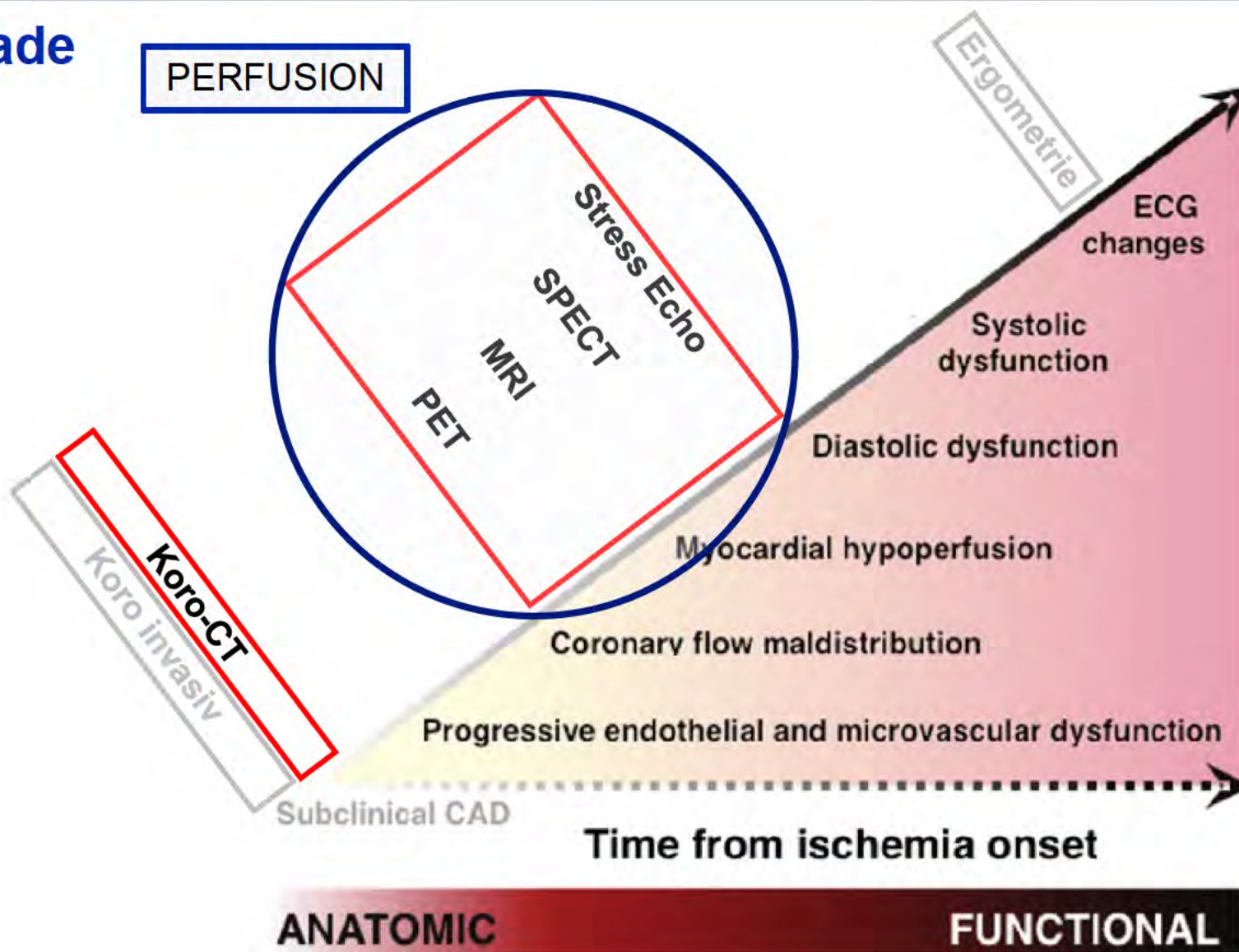




## Was jetzt?



## Ischämiekaskade





## Myokardperfusionszintigraphie (SPECT)

Gamma-Strahlung

**SPECT = Single Photon Emission Computerized Tomography**

**2 Substanzgruppen (Radiopharmaka) als Perfusions-Tracer**

Technetium

Lipophile Moleküle (Fixation in Mitochondrien, keine Umverteilung)

**Tetrofosmin (Myoview®)**

mit <sup>99m</sup>Tc markiert ( $t_{1/2}$  = 6h)

**MiBi (Methoxy-Iso-Butyl-Isonitril)**

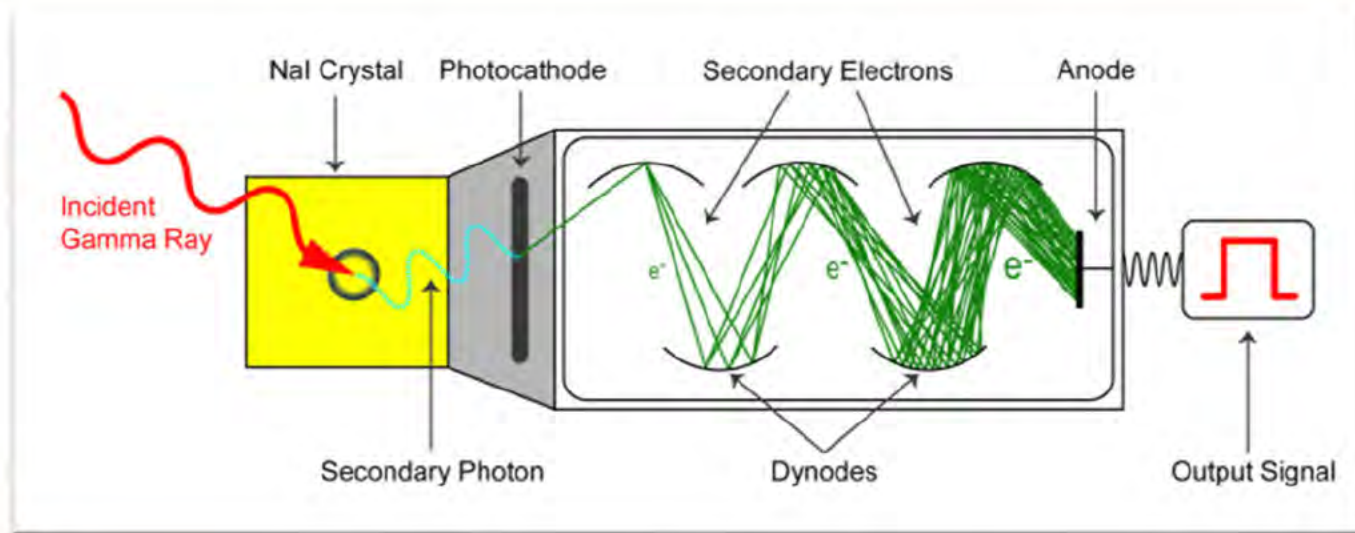
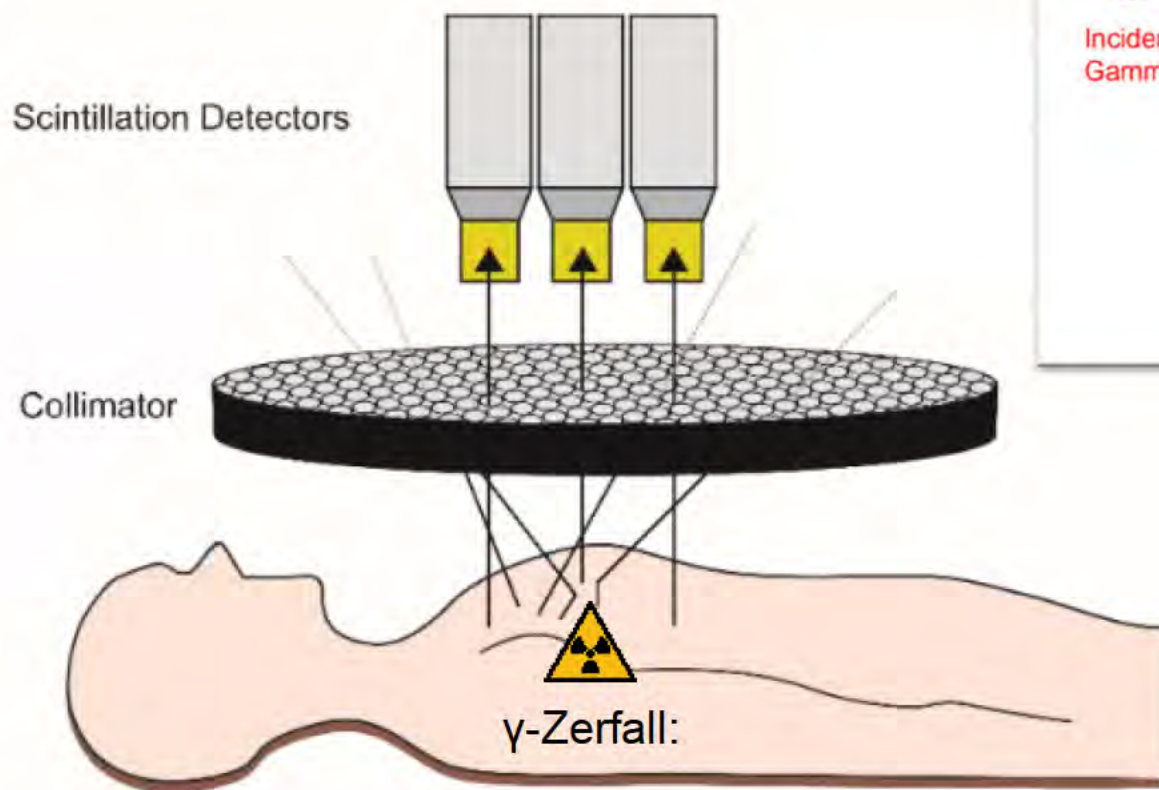
mit <sup>99m</sup>Tc markiert ( $t_{1/2}$  = 6h)

Isotop (Aufnahme via Na/K-ATPase, Umverteilung)

<sup>201</sup>Tl (Thallium)

strahlt selbst da Isotop ( $t_{1/2}$  = 72h)

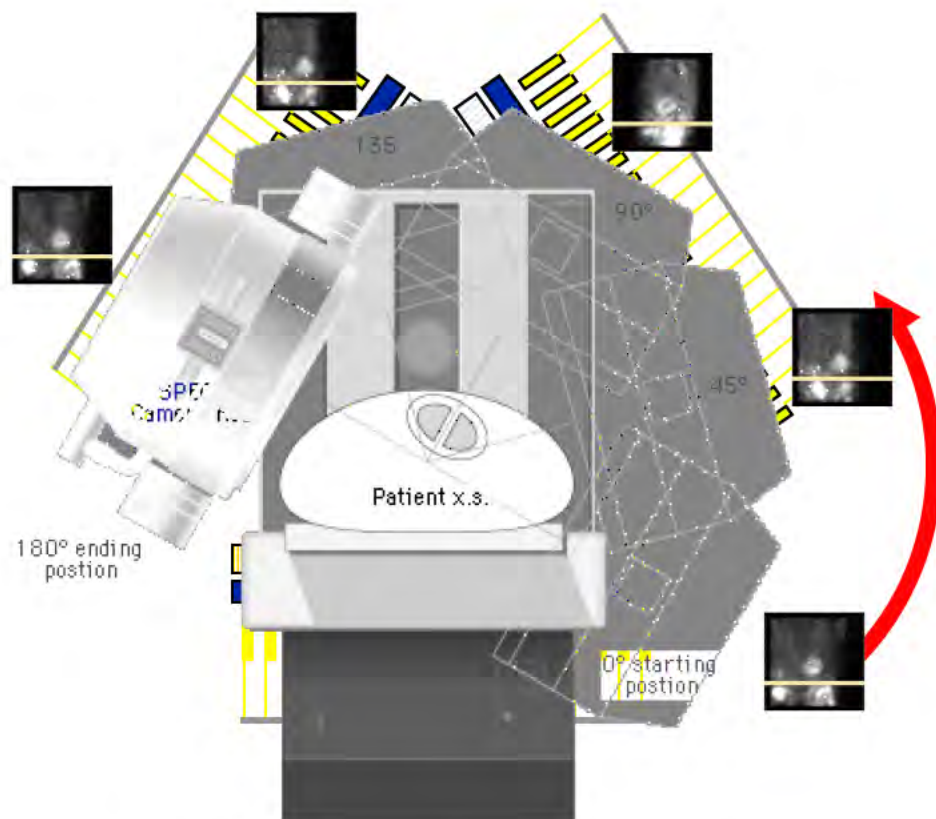
## Prinzip der Szintigraphie



$^{99m}\text{Tc}$ -Tetrofosmin /  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI



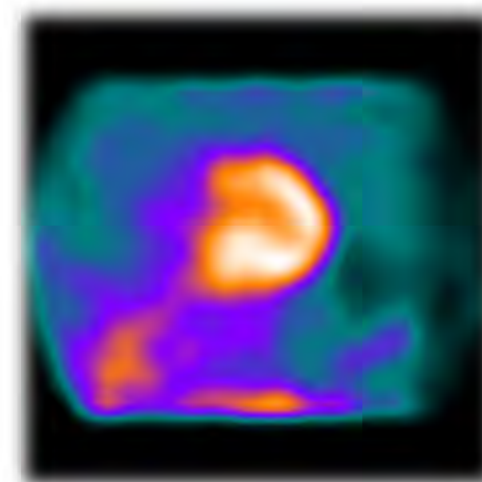
## SPECT = Single Photon Emission Computed Tomography



Konventionelle SPECT-Kamera  
Dauer Bildakquisition: ca. 15-20 Minuten



Moderne Kamera (nur für Herz)  
Dauer Bildakquisition: ca. 2-3 Minuten



## Myokardperfusions-SPECT

### Prinzip

Aufnahme von  $^{99m}\text{Tc}$ -MiBi oder  $^{99m}\text{Tc}$ -Tetrofosmin (oder  $^{201}\text{Tl}$ ) in perfundierte lebende Myokardzellen.

Aufnahme des Radionuklids bedeutet Perfusion, d.h. umgekehrt Defekt im SPECT heisst defekte Perfusion  
= KHK

### Beurteilung

Ischämie

Defekt unter Belastung aber kein Defekt in Ruhe („mismatch“)

Infarktnarbe

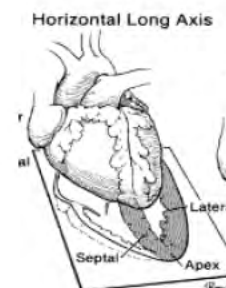
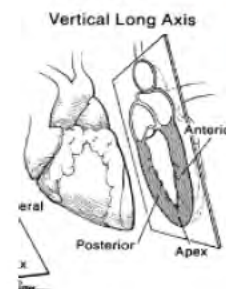
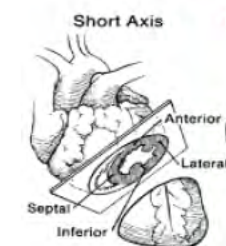
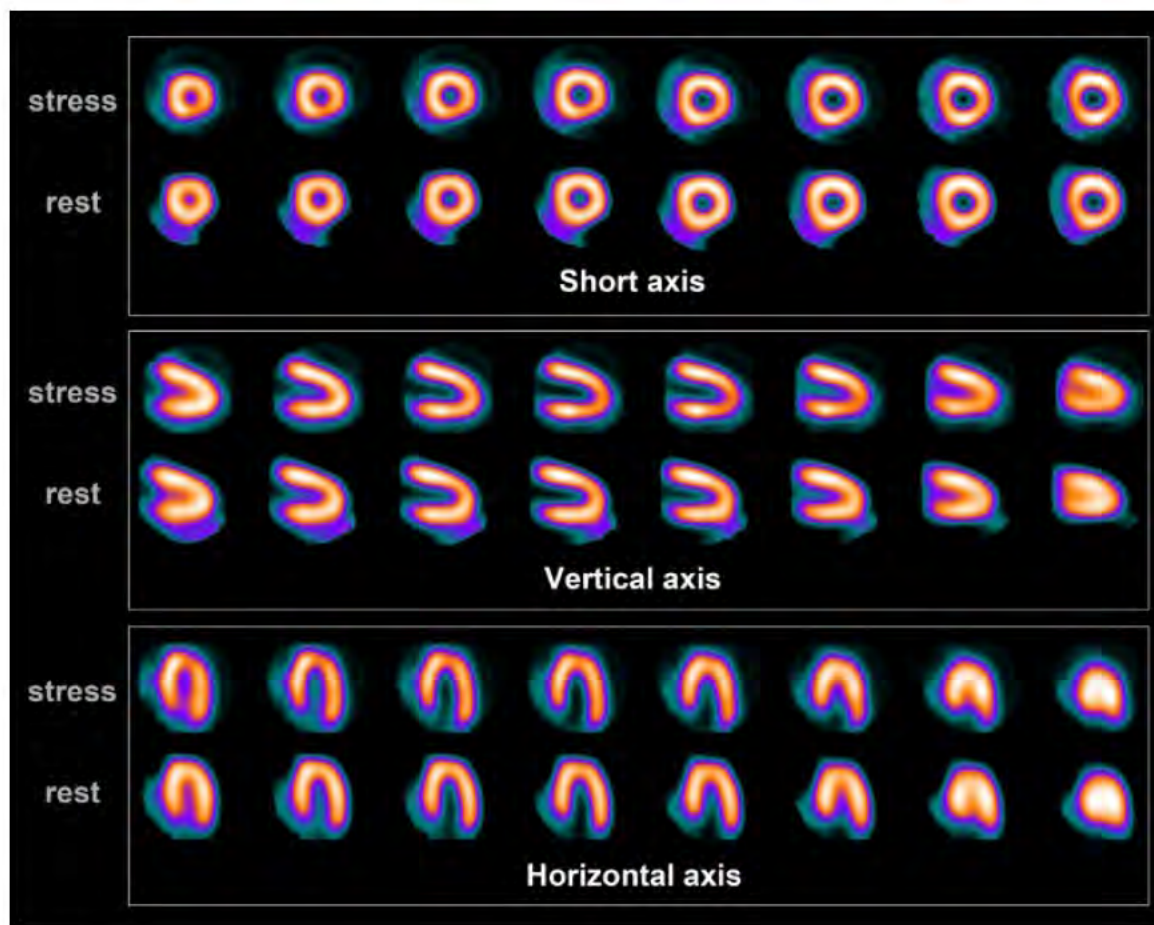
Defekt unter Belastung und kongruent auch in Ruhe („match“)

Kein Defekt unter Belastung = keine Ischämie und keine Narbe

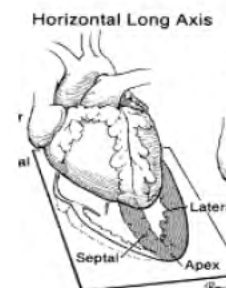
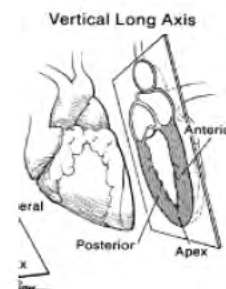
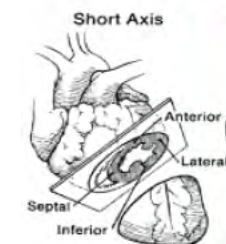
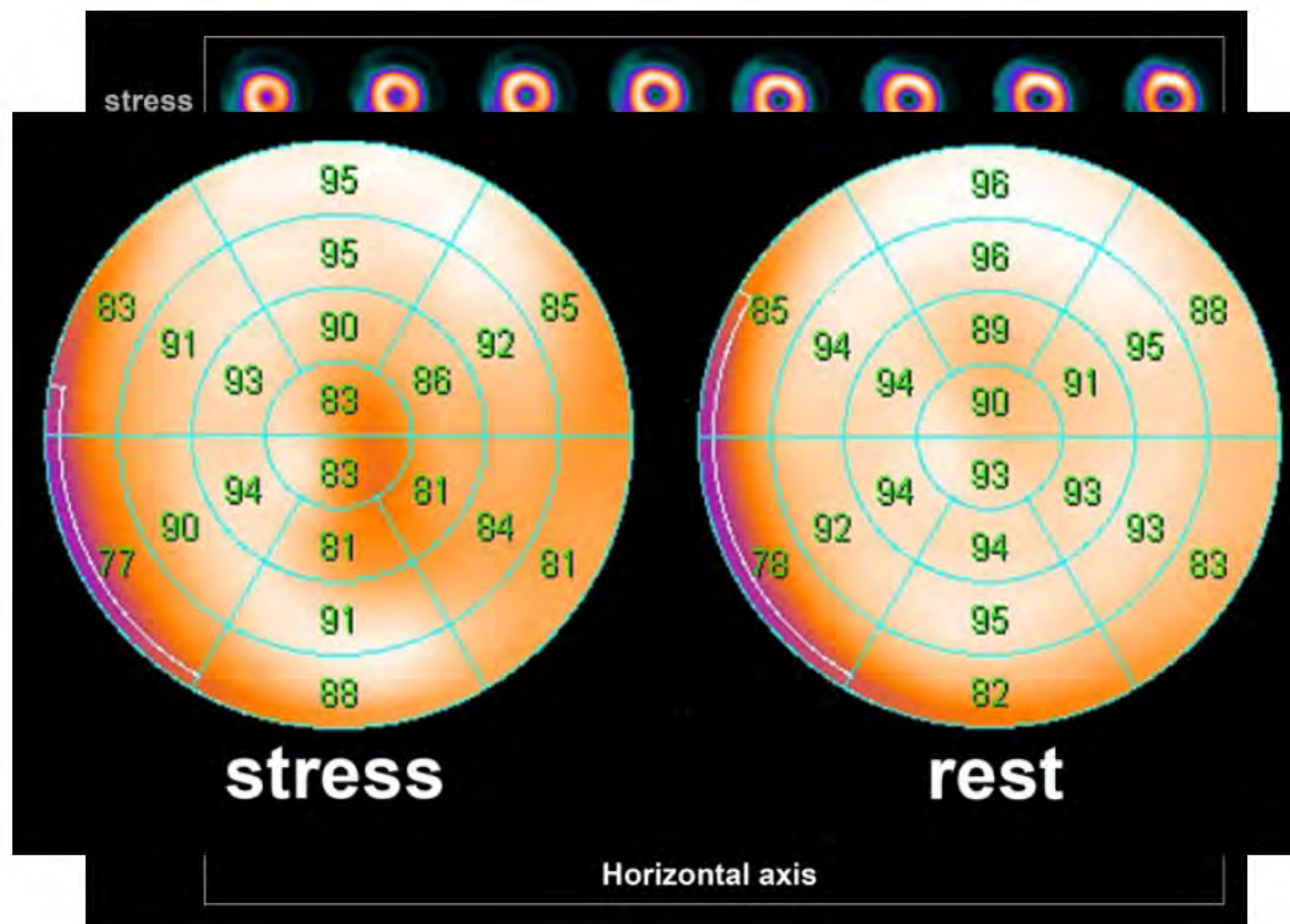
**Wichtig**



## Myokardperfusions-SPECT



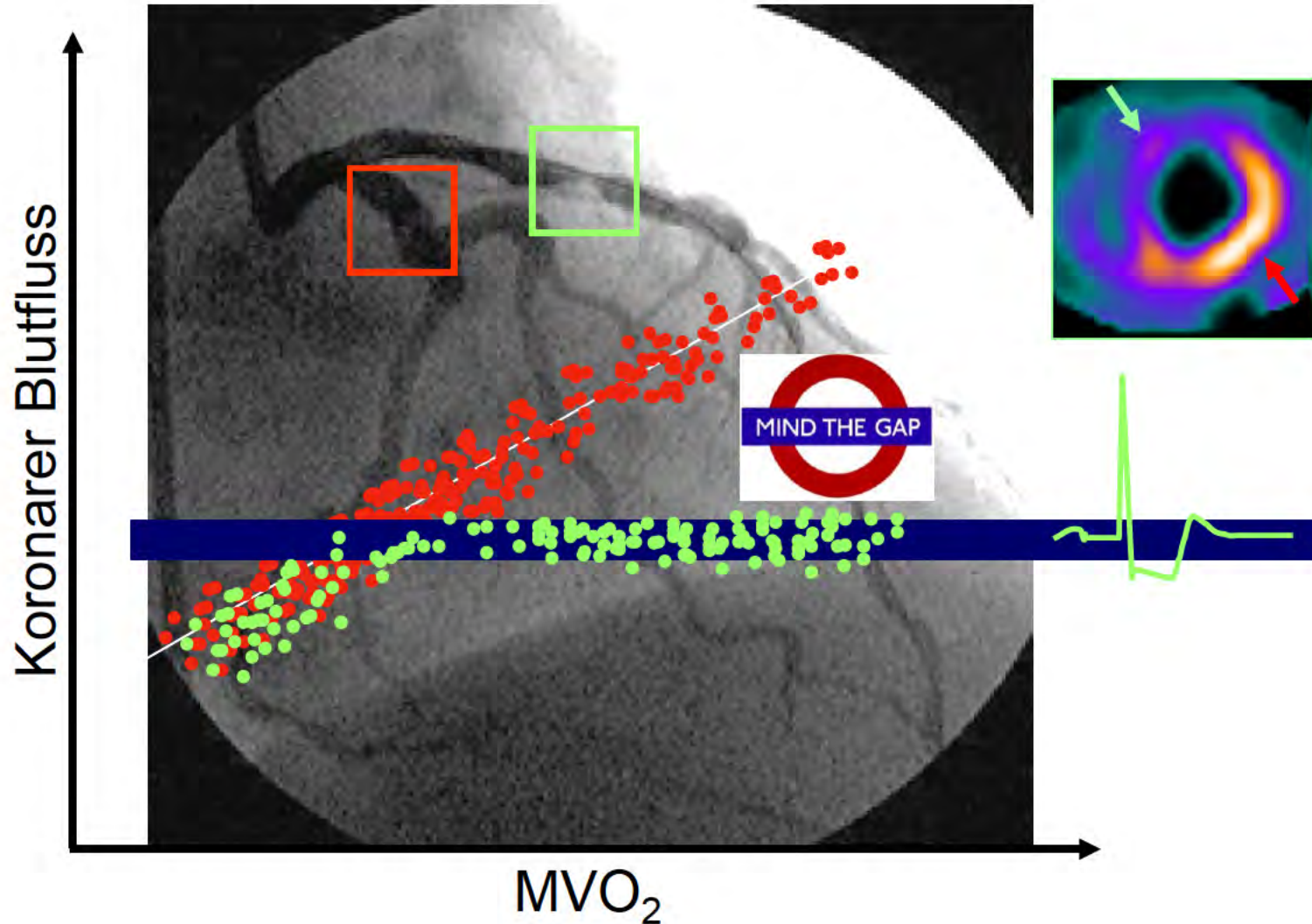
## Myokardperfusions-SPECT





## Koronaranatomie und Perfusion

*Stenose "signifikant" wenn Perfusion beeinträchtigt*





## Belastungsarten

- **Ergometrie** (Fahrrad; Laufband ist Alternative).
- Pharmakologisch ca. 1/3 der Patienten kann nicht ergometrisch belastet werden (Arthrosen, PAVK, Amputationen etc.).  
Pharmakologische Belastung durch

Vasodilat.

- **Adenosin** ( $t_{1/2}$ =10-20 Sek) oder Regadenoson (wenige Min.)

- Regadenoson  
Dipyridamol ( $t_{1/2}$ =20 Min, verhindert die Aufnahme von Adenosin in die Zellen, d.h. wirkt indirekt ebenfalls via Adenosin)

$\beta_1$ -stim.

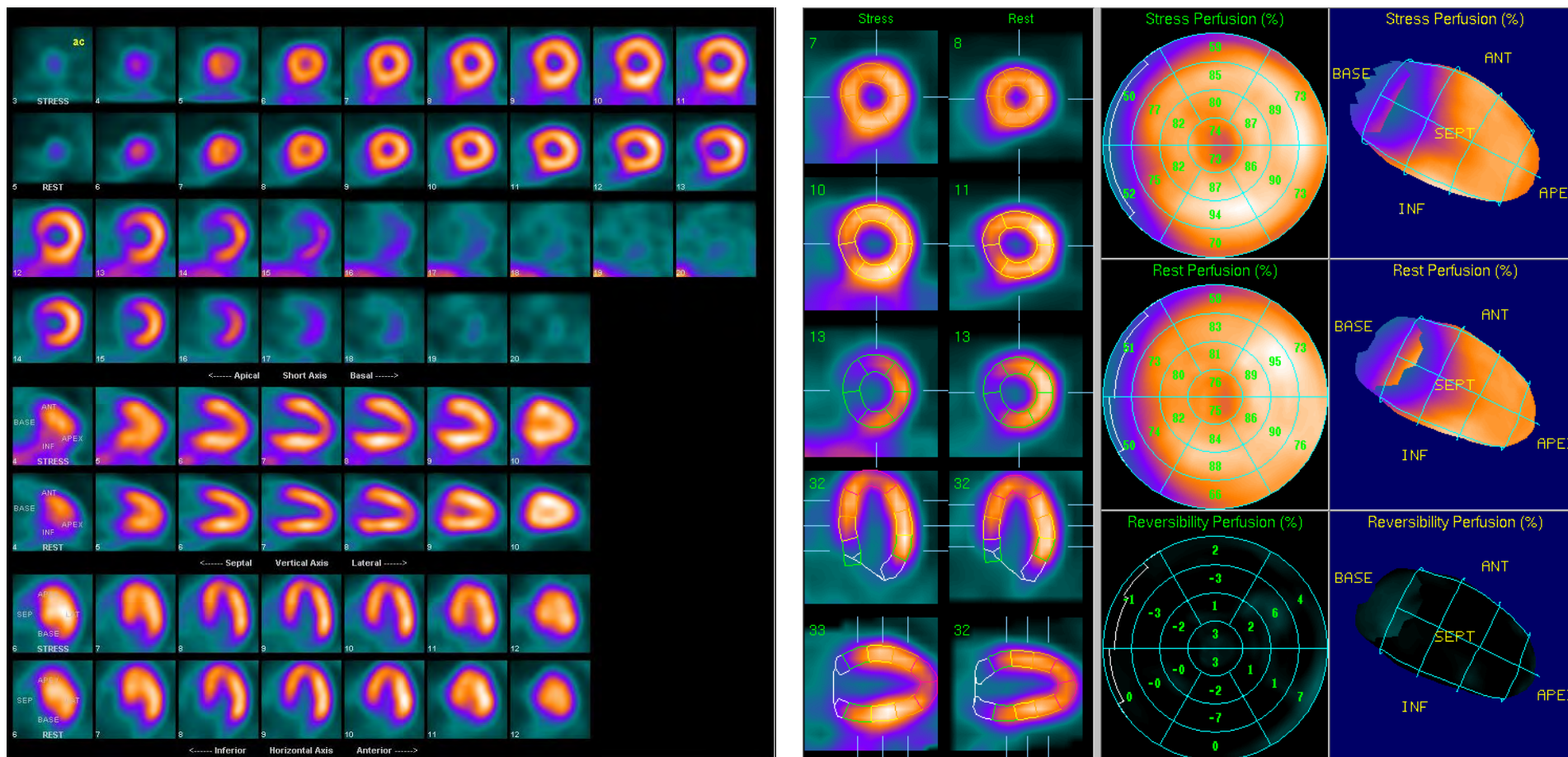
- Dobutamin (wenige Min.)

## Funktionsweise der pharmakologischen Belastung

- Dobutamin ist positiv inotrop, steigert  $O_2$ -Bedarf und damit Perfusion.  
Bei Stenose: Ischämie!
- Adenosin/Regadenoson induzieren direkt eine Hyperämie, die stärker ist als unter ergometrischer Belastung, also Luxusperfusion  
Bei Stenose: Keine Ischämie.
- Dadurch treten **relative** Perfusionsunterschiede zw. normalen und stenotischen Koronararterien zutage (Problem: koronare 3-Gefässerkrankungen oder diffuse Störung der Perfusion)
- Die Adenosinrezeptoren der glatten Muskelzellen sind purinerge Rezeptoren und werden somit durch alle Methylxanthine blockiert, die daher 12-24 h vor der Untersuchung vermieden werden müssen (kein Kaffee, Tee, keine Schokolade, keine Aminophyllin-haltigen Medikamente).

## Patient 1: w, 66-jährig

Anamnese: Atypische Angina pectoris bei leichter Anstrengung, Ergometrie nicht durchführbar (Arthrose)



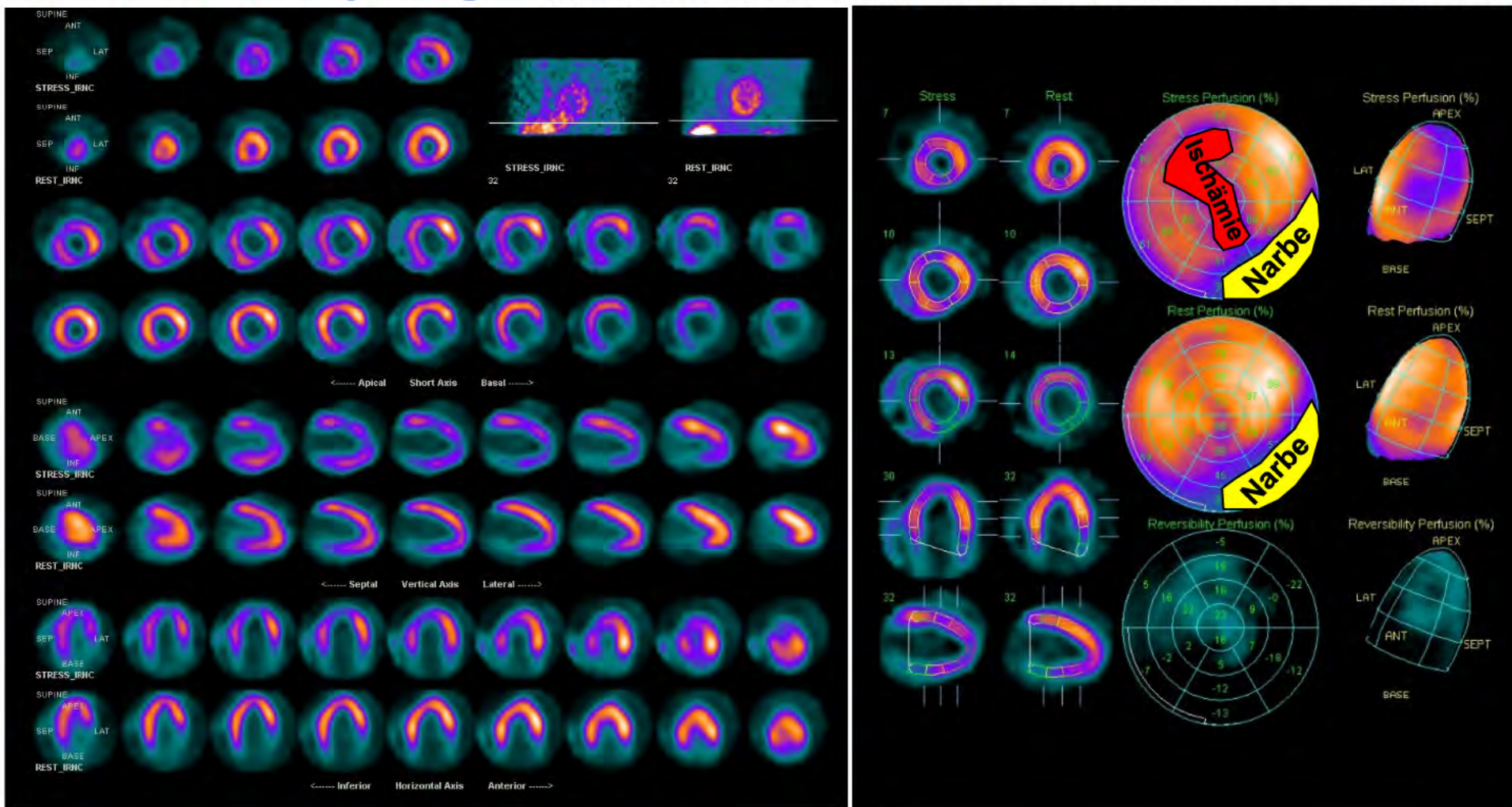
**Diagnose: Keine Narbe, keine Ischämie**



## Patient 2: m, 69-jährig

Anamnese: Koronare Herzkrankheit mit St.n. inferolateralem Infarkt 08/14 und RCA-PCI

Ergometrie: ST-Streckensenkung nicht beurteilbar wegen Linksschenkelblock, subjektiv pathologisch



**Diagnose: Inferolaterale Narbe mit Ischämie apikal bis anterior**

## Zusammenfassung: Myokardperfusions-SPECT

### Indikation:

Ischämienachweis/-Ausschluss bei vermuteter oder bekannter koronarer Herzkrankheit

### Vorteile:

Gute Bildqualität, erlaubt eine Beurteilung des gesamten Myokards

Sehr robuste Modalität, seit Jahrzehnten im Einsatz, sehr gute Datenlage

### Nachteile:

Strahlenbelastung (5-10 mSv)

Schwächungsartefakte bei sehr adipösen Patienten

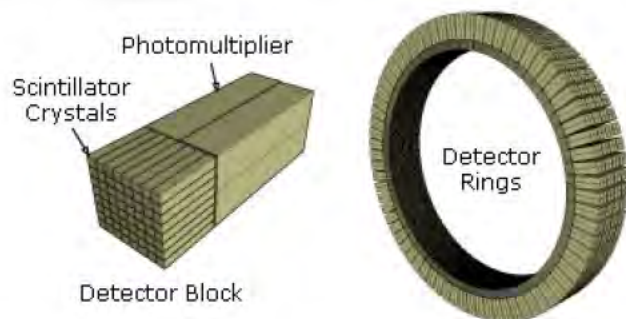
Nur relative Perfusionsunterschiede treten zutage, es braucht immer ein (normal perfundiertes) Referenzgebiet

### Kontraindikation:

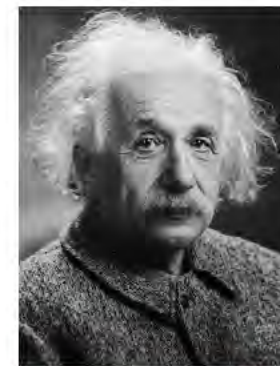
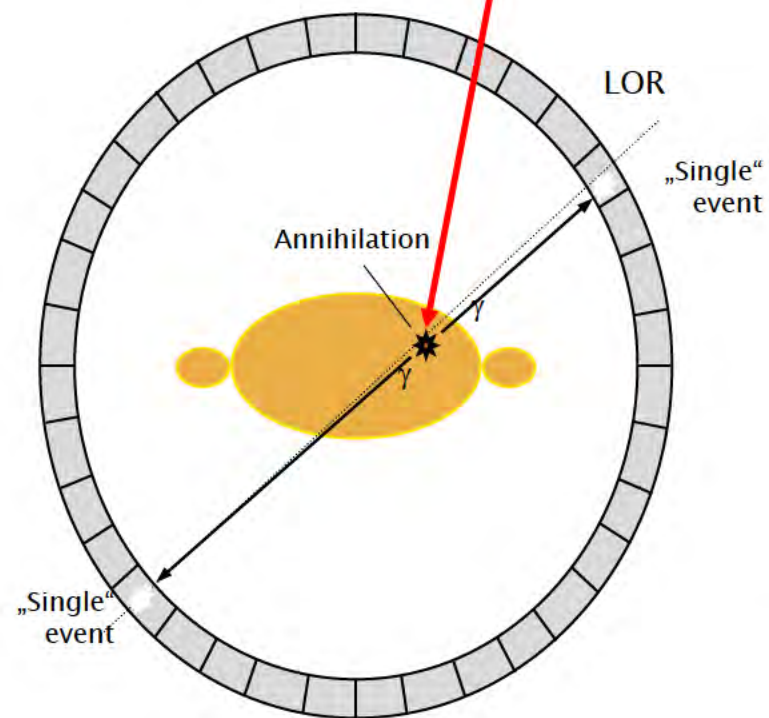
Keine absoluten! (Schwangerschaft = relative Kontraindikation)



# Myokardperfusions-Positronenemissionstomographie (PET)



$\beta^+$ -Zerfall:

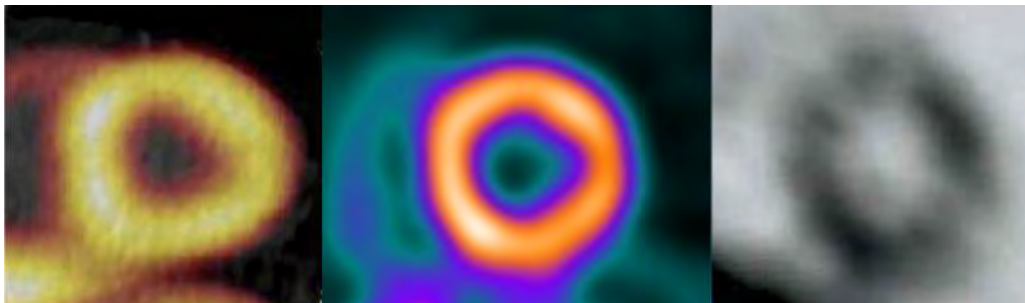


511keV



## PET Myokardperfusions-Tracer

| <i>Tracer</i>            | <i>Production</i> | <i>Half-life</i> |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| $^{15}\text{O}$ -Water   | Zyklotron         | 2 min            |
| $^{13}\text{N}$ -Ammonia | Zyklotron         | 10 min           |
| $^{82}\text{Rb}$         | Generator         | 1 min            |

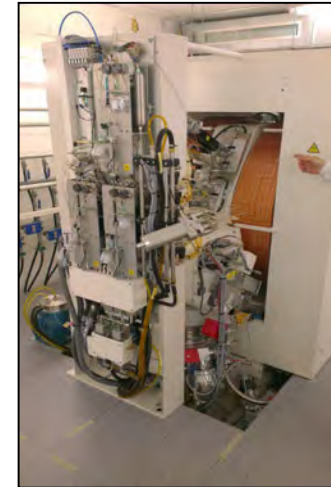


$^{82}\text{Rb}$

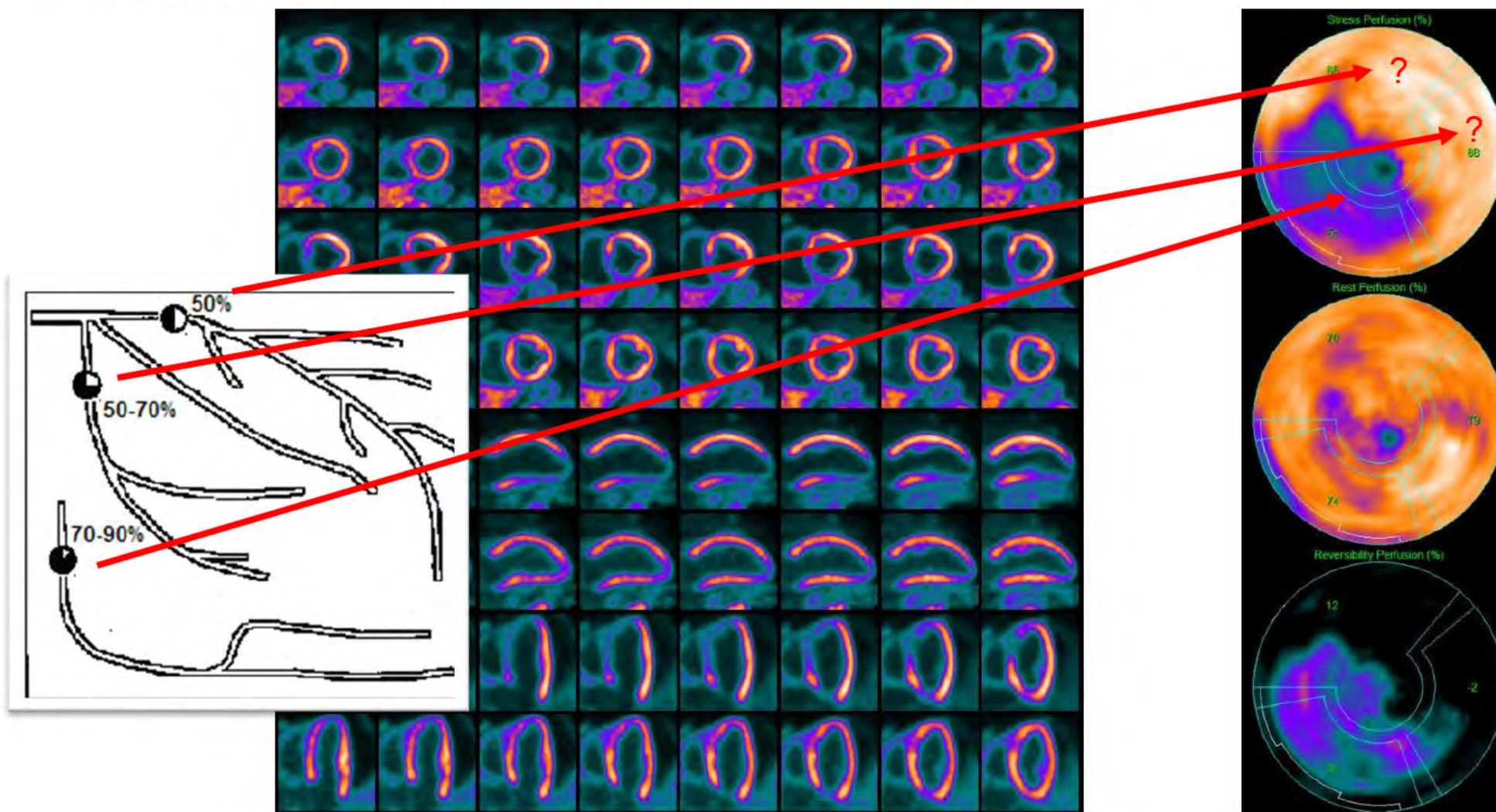
$^{13}\text{N-NH}_3$

$^{15}\text{O-H}_2\text{O}$

Radiopharmazie ist ein zertifizierter Pharmabetrieb

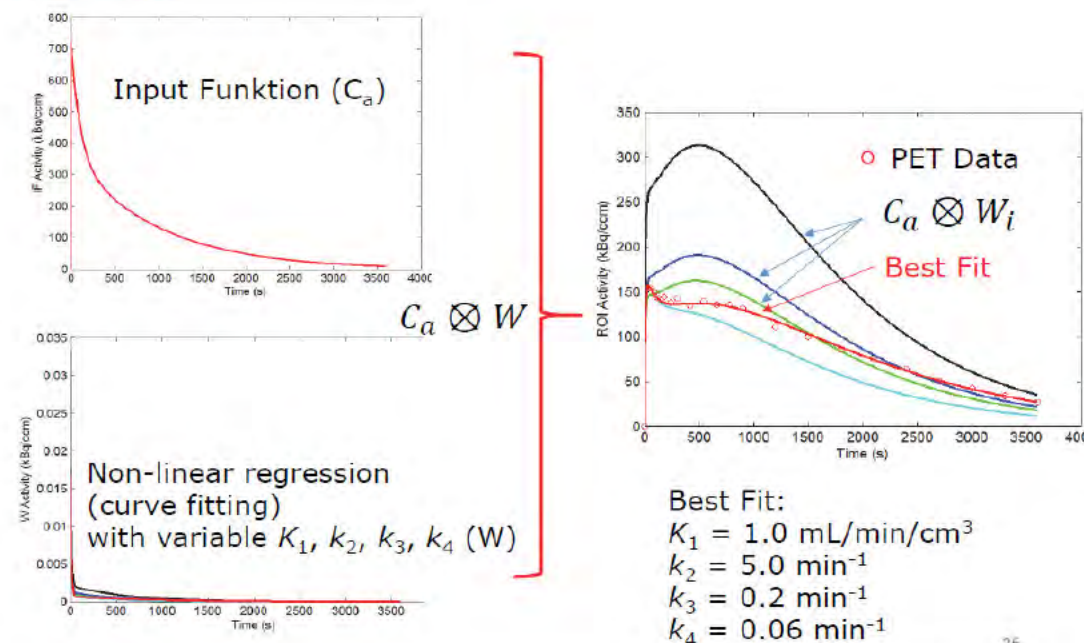
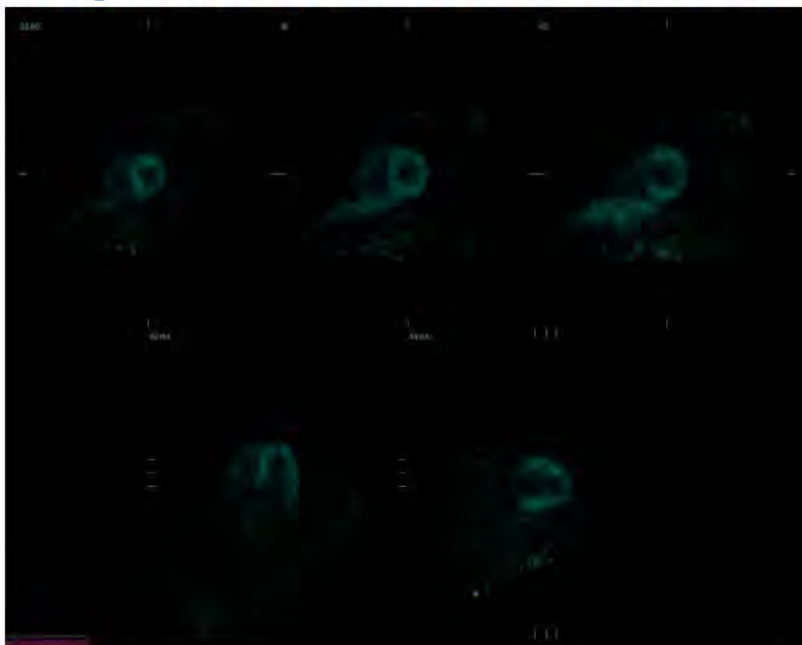


## Myokardperfusions-PET - Semiquantitativ





## Myokardperfusions-PET - Flussquantifizierung



Ruhefluss (ml/min/g)  
Hyperämischer Fluss (ml/min/g)  
Flussreserve MFR (stress:rest)

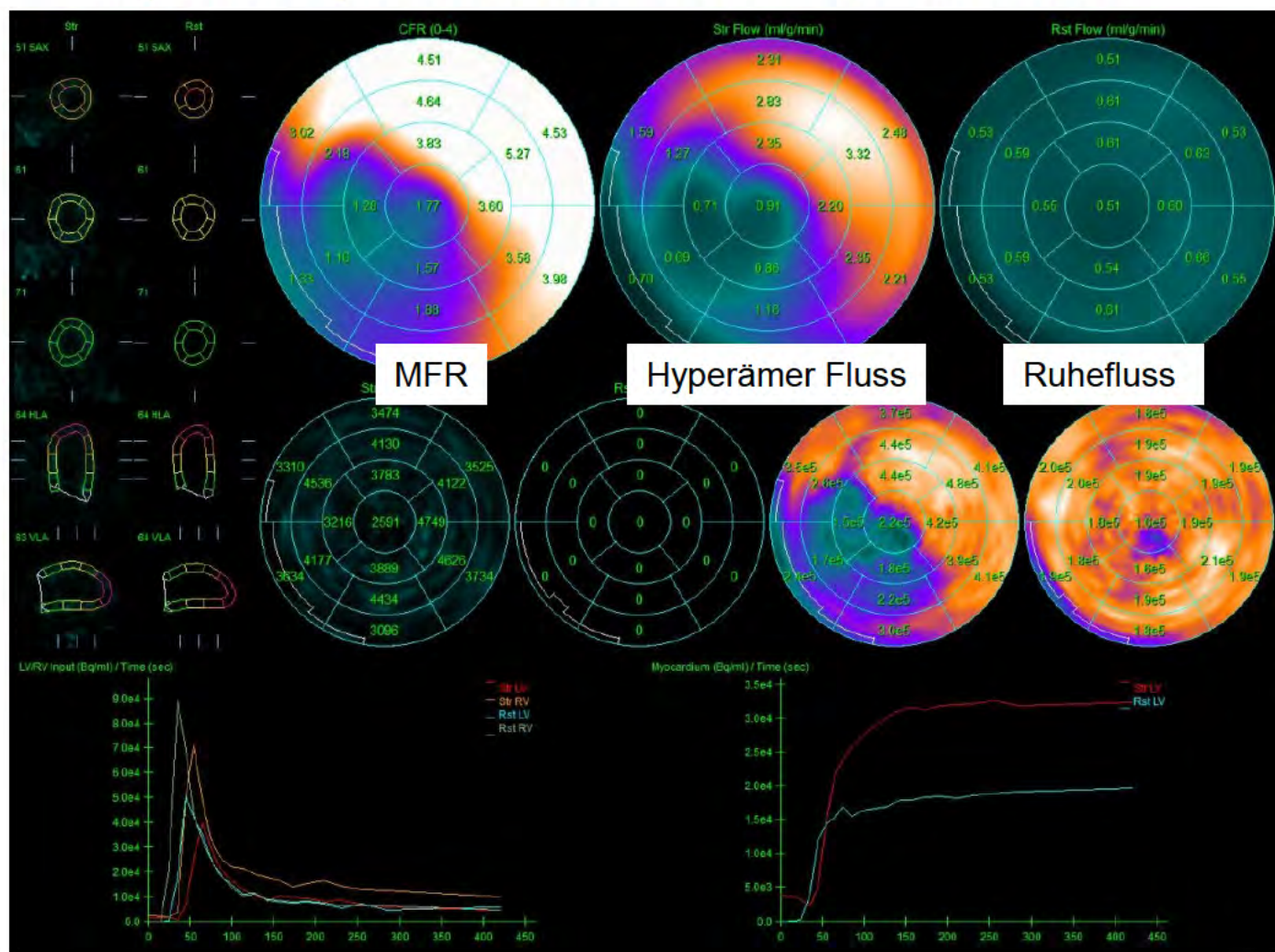
MFR Normal > 2.5  
Pathologisch < 2.0

$$\frac{dC_t(t)}{dt} = K_1 \cdot C_a(t) - k_2 \cdot C_t(t)$$

$$C_t(t) = K_1 e^{-k_2 t} \otimes C_a(t)$$



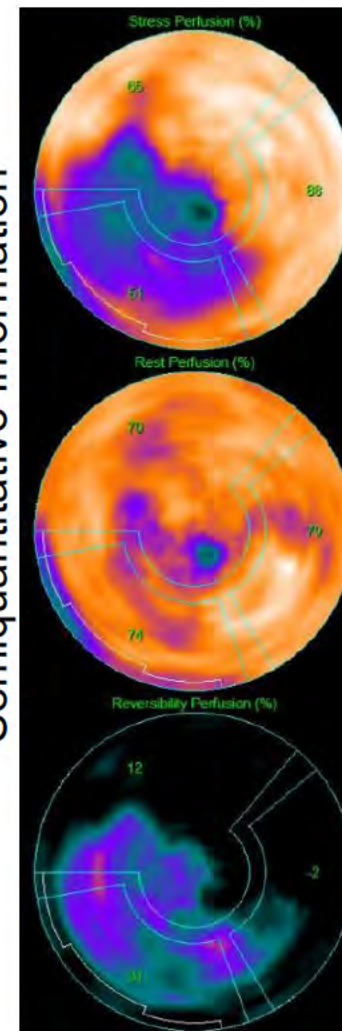
## Myokardperfusions-PET - Quantitativ



Quantitative Information

+

Semiquantitative Information



## Zusammenfassung: Myokardperfusions-PET

### Vorteile:

Sehr gute Bildqualität, hohe Auflösung

Einzige nicht-invasive Modalität, die eine absolute Flussquantifizierung in der klinischen Routine erlaubt

Tiefe Strahlenbelastung (1-2 mSv)

### Nachteil:

Verfügbarkeit und Kosten

### Indikationen

Bekannte koronare Herzerkrankung und v.a. Mehrgefässerkrankung oder Vd. a. mikrovaskuläre Dysfunktion

Diabetiker, adipöse Patienten, junge Patienten (wegen tiefer Strahlenbelastung)

### Kontraindikation:

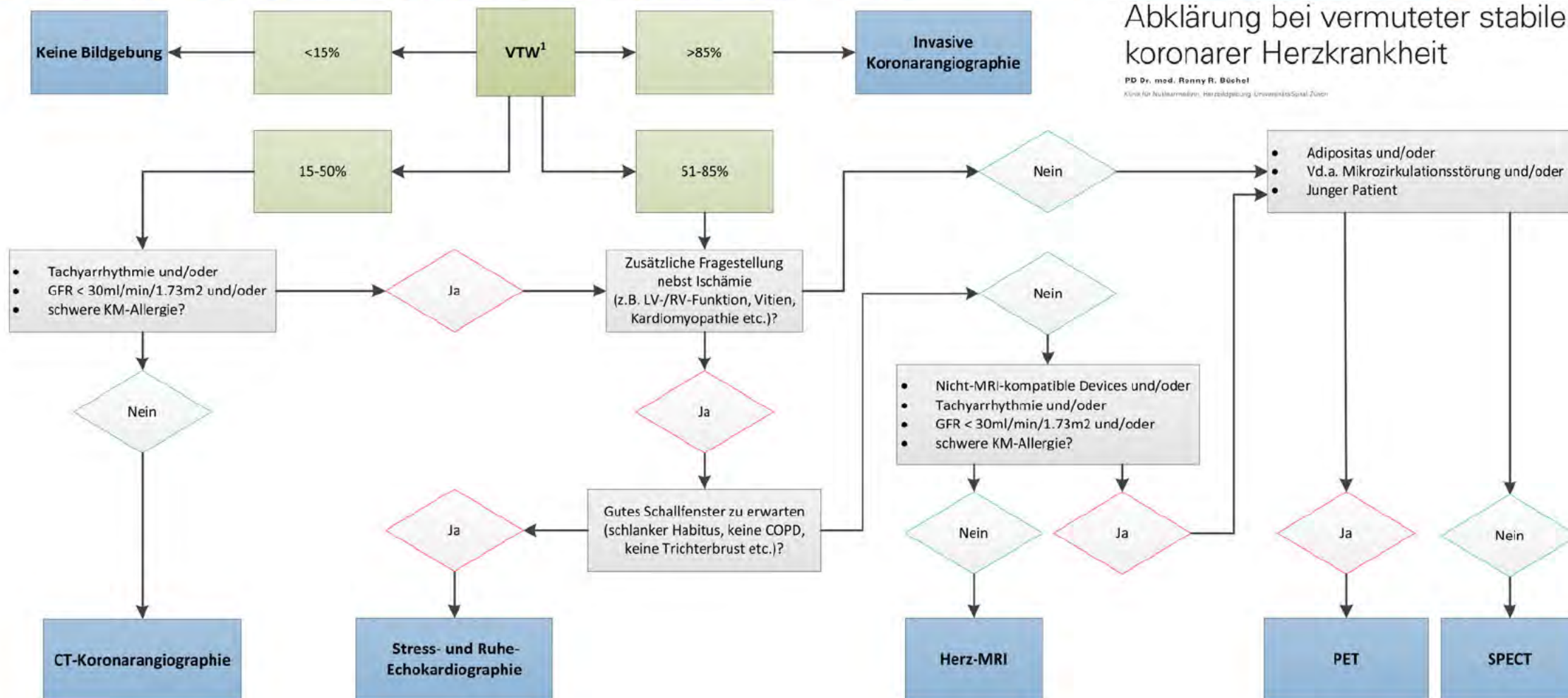
Keine absoluten! (Schwangerschaft = relative Kontraindikation)

## Welche Diagnostik bei welchem Patienten?

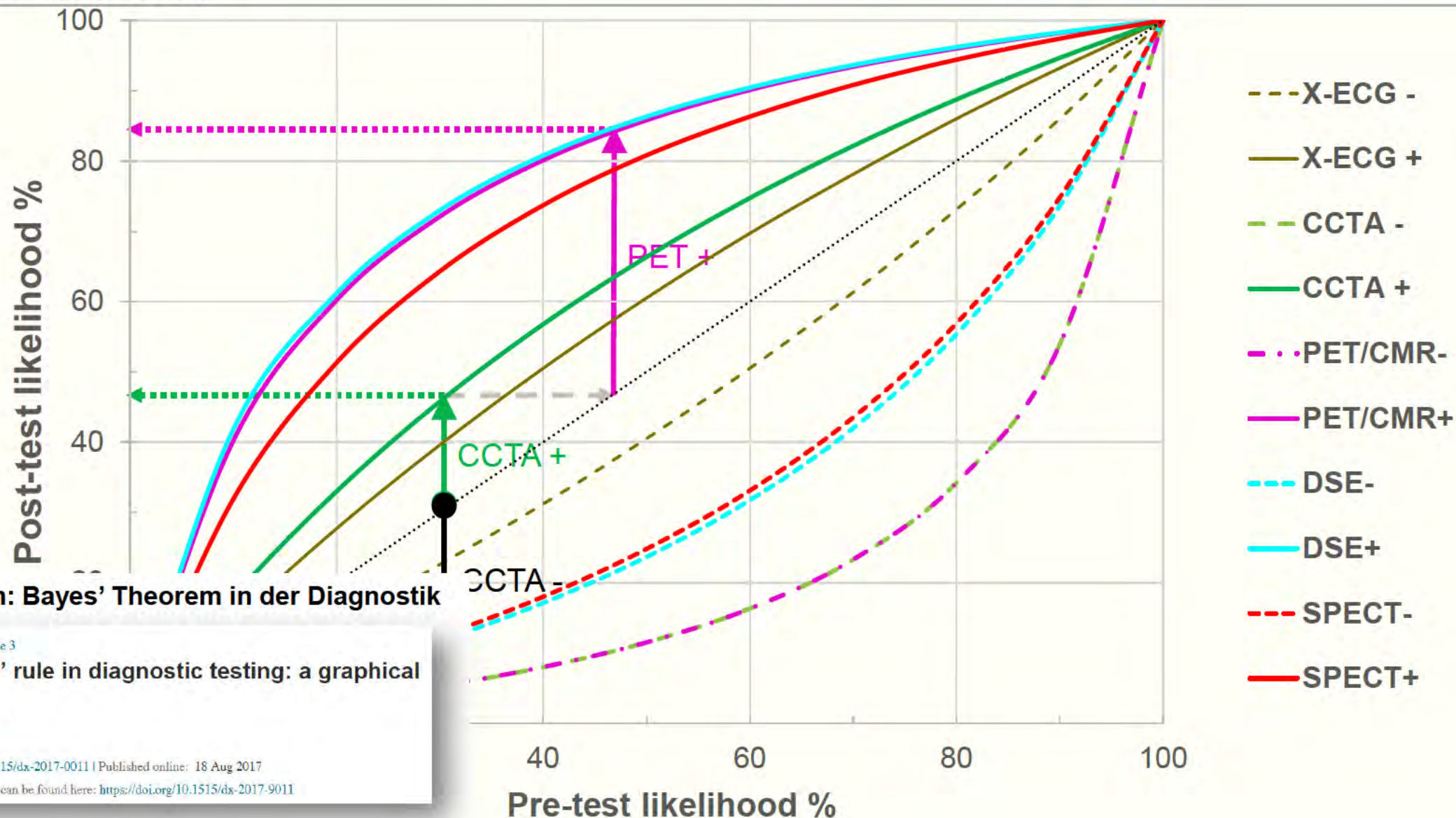
Abklärung bei vermuteter stabiler koronarer Herzkrankheit

PD Dr. med. Ronny R. Büchel

Klinik für Nuklearmedizin, Herzschildgebung, Universitätsspital Zürich







Selbststudium: Bayes' Theorem in der Diagnostik

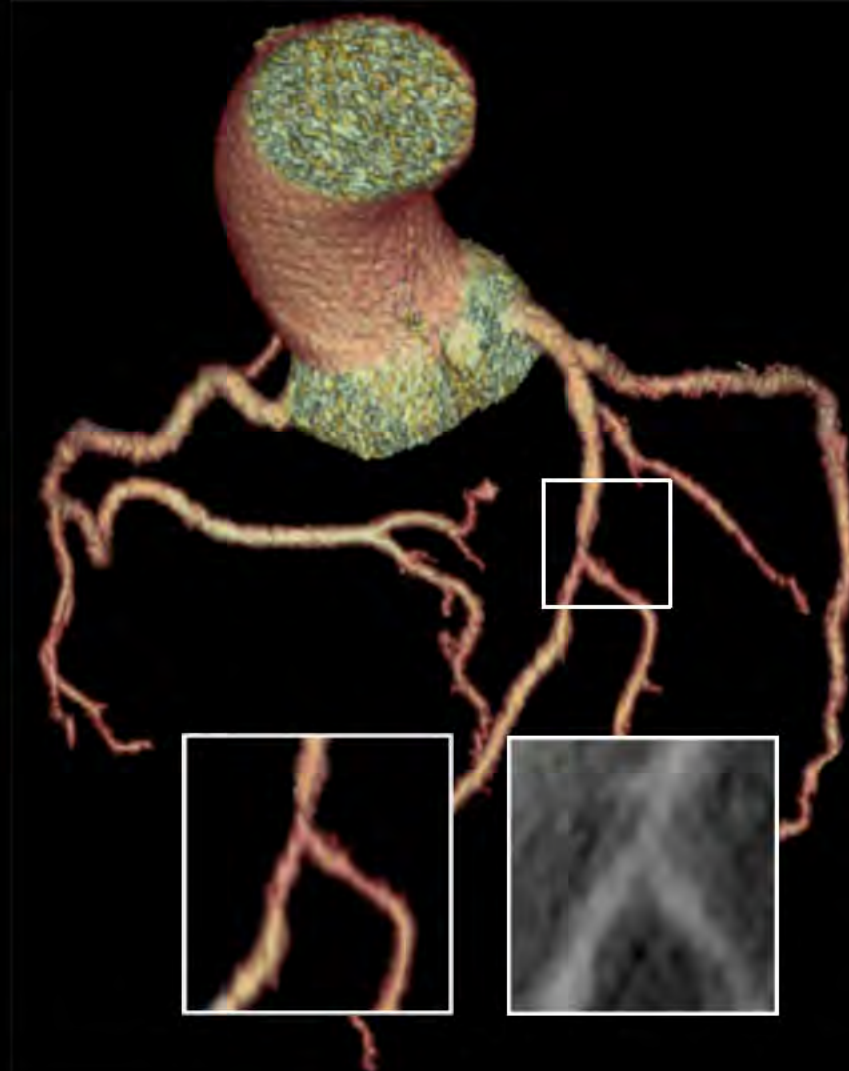
Diagnosis | Volume 4: Issue 3

Using Bayes' rule in diagnostic testing: a graphical explanation

Kevin M. Johnson

DOI: <https://doi.org/10.1515/dx-2017-0011> | Published online: 18 Aug 2017

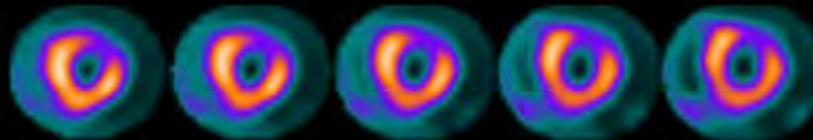
An erratum for this article can be found here: <https://doi.org/10.1515/dx-2017-9011>



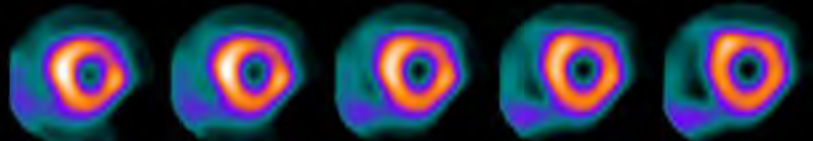
50-70% Stenose im RIVA und im 2. Diagonalast. Wie weiter?



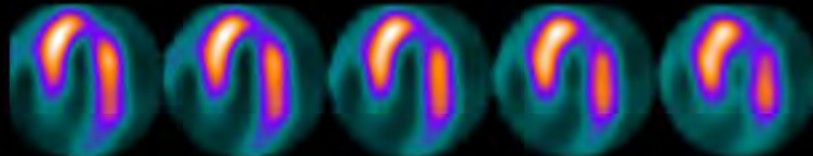
SA  
stress



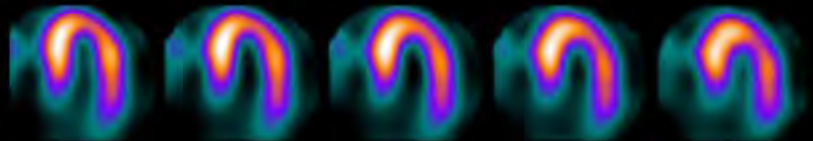
SA  
rest



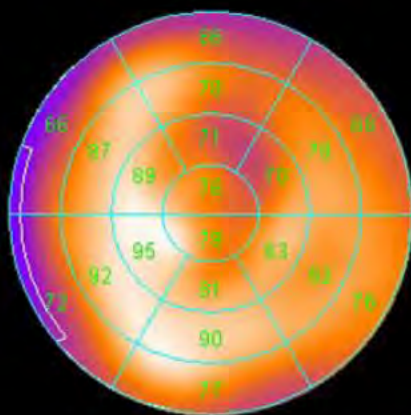
HLA  
stress



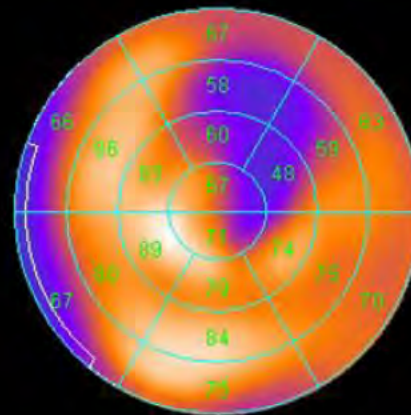
HLA  
rest



Polar plot rest

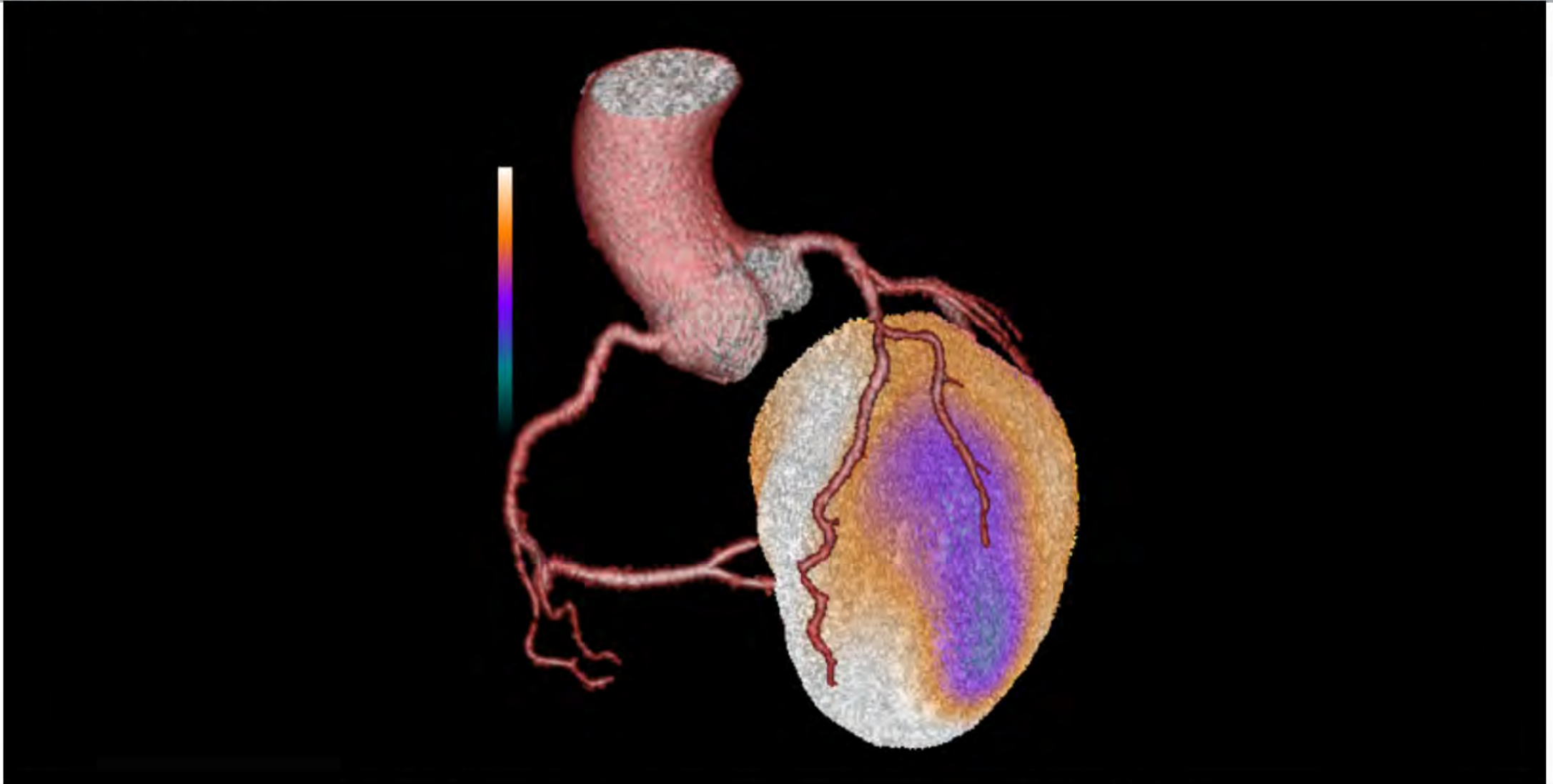


Polar plot stress

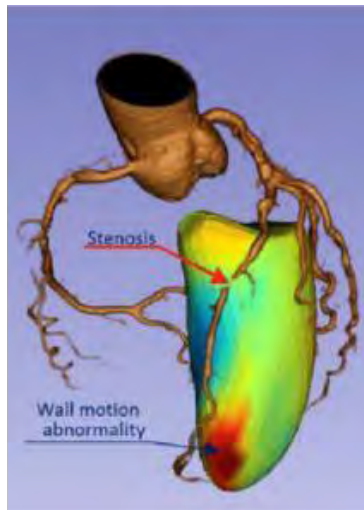


Ischämie (10-15%) anterolateral. Aber welches Gefäss?





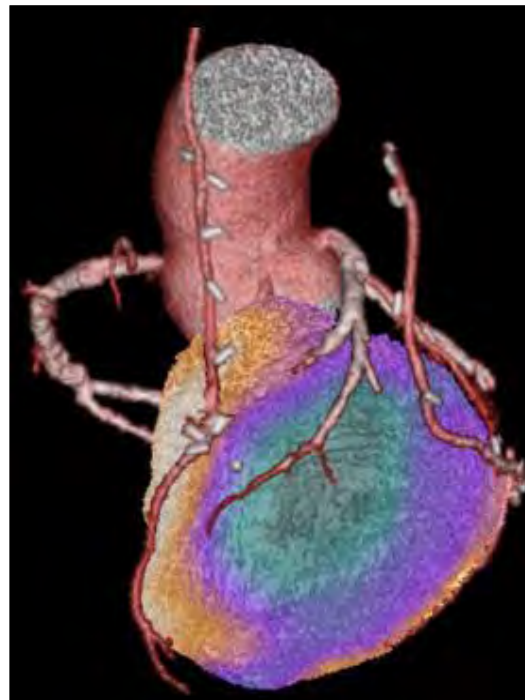
Der 2. Diagonalast verursacht die Ischämie, nicht der RIVA!



**CCTA + Echo**



**CCTA + CTP**



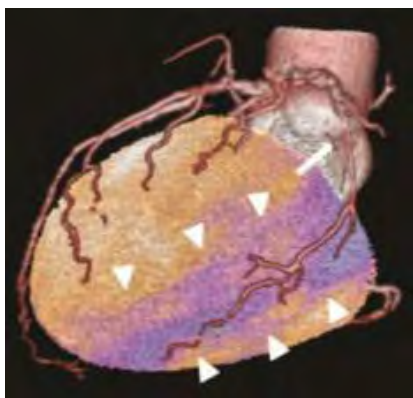
**CCTA  
+  
PET perfusion**



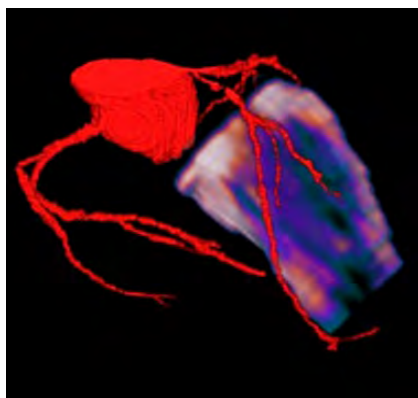
**CCTA  
+  
SPECT perfusion**



**CCTA  
+  
PET viability**



**CCTA + MR  
perfusion**



**MR-Angio + MR  
perfusion**

**Hybridbildgebung bietet endlose Möglichkeiten**



**Universität  
Zürich** <sup>UZH</sup>

**Medizinische Fakultät**

---

**USZ** Universität  
Spital Zürich



## Wichtigste “take-home-messages”

- 1.) Ein Ischämienachweis ist in der Abklärung der KHK unverzichtbar, denn nicht jede Koronarstenose führt zu einer ischämischen Herzkrankheit.
- 2.) Nicht jede Stenose, die eine Ischämie verursacht braucht eine Revaskularisation.
- 3.) Es gibt nicht die ideale Abklärungsmodalität. Diese ist abhängig von der Patientin, der Fragestellung, der lokalen Expertise und der Verfügbarkeit.
- 4.) Moderne Medizin = Präzisionsmedizin, d.h. hochpräzise und effektive Diagnostik erlaubt hochpräzise und Patienten-zentrierte Therapien.
- 5.) Multimodales Imaging und multimodale Imager werden zunehmend wichtig!



## Masterarbeiten/Dissertationen auf der Nuklearmedizin

### Themenbereiche

Neuro

Herz

Onko

SD, Theragnostik

Technologische Entwicklungen (PET/MR...)

### **Kontakt**

**Frau PD Dr. Valérie Treyer**

**[valerie.treyer@usz.ch](mailto:valerie.treyer@usz.ch)**

**Prof. Dr. med. Ronny R. Büchel**

**[ronny.buechel@usz.ch](mailto:ronny.buechel@usz.ch)**