

核医学

腎臓. 泌尿器核医学

恵佑会札幌病院
放射線画像センター
伊藤 和夫

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

泌尿器核医学検査の種類と分類

A. 体外計測法

I. 腎臓核医学検査

1. 動態腎シンチグラフィ
 - a. カプトプリルレノグラフィ
 - b. 利尿レノグラフィ
2. 静態腎シンチグラフィ

II. RI-Cystography

1. 直接法
2. 間接法

III. 精巣シンチグラフィ

B. 試料計測法 (血漿クリアランス測定)

1. 多点 (2以上) 点採血法
2. 1点採血法

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

腎臓核医学検査の構成

放射性医薬品

I-131-OIH, Tc-99m-DMSA
Tc-99m-DTPA, Tc-99m-MAG3

計測装置

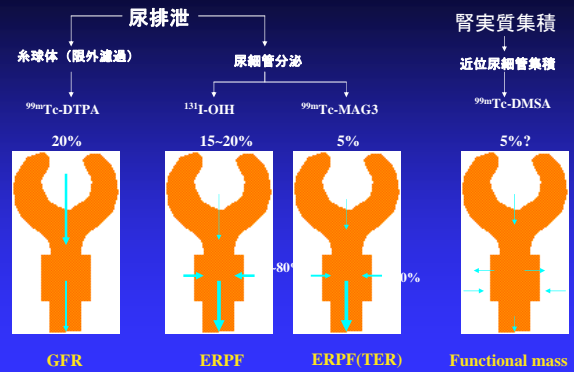
Probe, scanner, gamma camera,
SPECT

解析装置, アルゴリズム, 負荷
computer, transit time, uptake,
deconvolution, clearance, ACE, Lasix

体外計測法
画像診断
機能診断 (分腎)
試料計測法
機能診断 (総腎)

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

腎臓核医学検査用放射性医薬品



Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

動態腎シンチグラフィ

1. 放射性医薬品

^{99m}Tc-DTPA, ^{99m}Tc-MAG3, (¹²³I-Hippuran)

2. 検査方法

- ・検査前の水負荷 (6ml/kg, 最大300~500ml).
- ・背臥位, 坐位
- ・動態検査 (血流相, 機能+排泄相, レノグラム)

3. 検査の特徴

- ・分腎機能評価に最も適している.
- ・GFR, ERPFの定量評価が可能.

4. 適応疾患

腎機能障害 (慢性腎疾患), 腎腫瘍性病変 (残腎機能), 水腎症, 血管性高血圧, 胸部・腹部大動脈瘤, 移植腎, 腎外傷.

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

動態腎シンチグラフィ

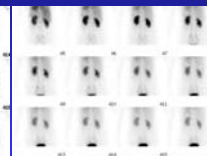
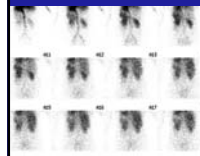
(^{99m}Tc-DTPA, 3点セット)

54歳, 女性

血流相イメージ

機能+排泄相イメージ

腎機能+レノグラム解析



3秒/Frame

1分/Frame

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

カプトプリルレノグラフィ

- 1. 放射性医薬品**
 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$, $^{99m}\text{Tc-MAG3}$, (^{123}I -Hippuran)
- 2. 検査方法**
 - ACE阻害剤, Ca拮抗剤の投薬中止 (最低検査2日前より)
 - カプトプリル25~50mgを検査開始1時間前に経口投与 (空腹時)
 - 通常の腎動態シンチグラフィに準ずる
- 3. 診断基準**

定性的

 - レノグラムパターンの変化 (gradeの亢進)

定量的

 - Peak時間の延長>5分
 - 集積率の低下>20%以上 ($^{99m}\text{Tc-DTPA}$)
 - 通過時間延長 ($^{99m}\text{Tc-MAG3}$)
- 4. 留意点**
 - specificity(95%)>sensitivity(70-90%)

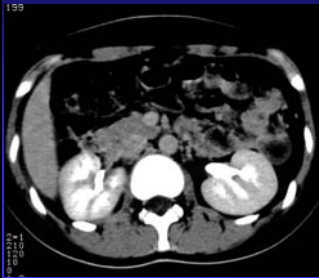
Department of Radiology, JP Sapporo General Hospital 71

症例：21歳、女性

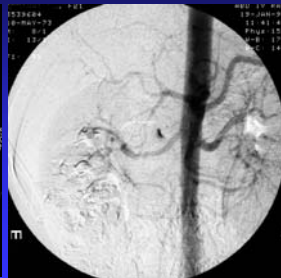
入院1年前に頭痛、眩暈にて近医受診。高血圧症と診断される。その後、症状がないため、放置。半年前に再び頭痛および嘔気出現し、循環器専門病院受診。CT検査にて副腎が大きいと言われた。1週間前に再度の頭痛、嘔気、眩暈を主症状とする発作が出現し、緊急入院。

Department of Radiology, JP Sapporo General Hospital 71

ENHANCED CT SCAN

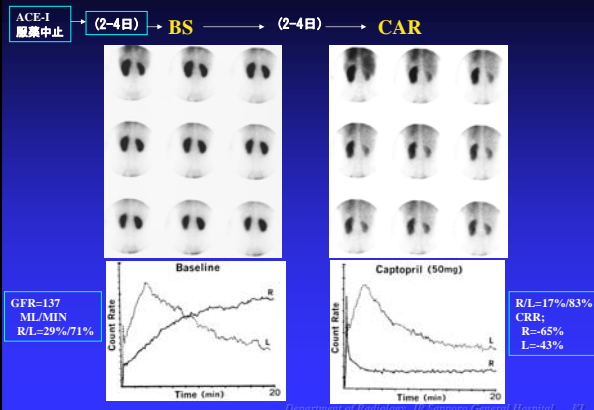


IV-DSA



Department of Radiology, JP Sapporo General Hospital 71

Captopril Augmented Renal Scintigraphy ($^{99m}\text{Tc-DTPA}$)



Department of Radiology, JP Sapporo General Hospital 71

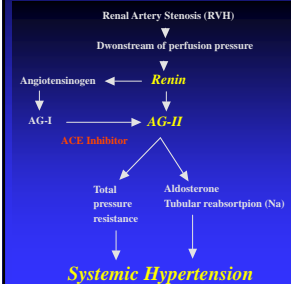
SELECTIVE ANGIOGRAPHY



Department of Radiology, JP Sapporo General Hospital 71

RVHの成因機序とCaptopril負荷時の腎機能変化

RENIN-DEPENDENT MECHANISM OF RVH IN THE BODY



RENIN-DEPENDENT MECHANISM OF RVH IN THE NEPHRON



Department of Radiology, JP Sapporo General Hospital 71

Captopril Renography の臨床応用

1. RVHのrenin依存性に関する診断
2. RASの外科治療の効果判定と経過観察
3. RASの外科的治療効果の術前予測
4. ACE阻害剤降圧剤投与の腎機能に与える影響の評価

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

利尿レノグラフィ

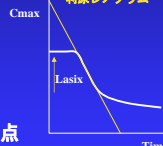
1. 放射性医薬品

$^{99m}\text{Tc-MAG3} > ^{99m}\text{Tc-DTPA}$

2. 検査方法



3. 診断基準



排泄半減期(DT1/2)=Cmax/2

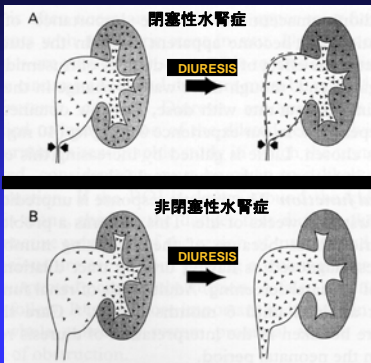
基準	DT1/2
正常	10分以下
境界型	10-20分
閉塞濃厚	20分以上
閉塞	排泄なし

4. 留意点

- false positiveは低い
- false negativeの原因(腎機能低下, 利尿不足, 腎盂拡張)

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

利尿レノグラフィの原理



閉塞 (OBSTRUCTION)

利尿剤投与後の腎盂・腎杯からの排泄が観察されない

停滞 (STASIS)

利尿剤投与後の腎盂・腎杯からの排泄が促進される

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

症例： 生後6か月, 女児

出生後、尿路感染症を繰り返すため、泌尿器科で検査を受けたところ、尿管の異常を指摘された。腎機能および尿通過動態の把握を目的に利尿レノグラフィを施行した。

$^{99m}\text{Tc-MAG3}$ 利尿レノグラフィ

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

INTRAVENOUS PYELOGRAPHY (IVP)

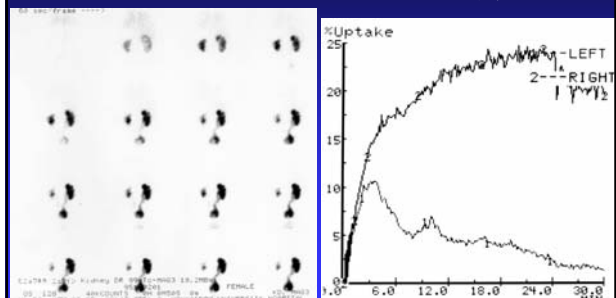


Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

$^{99m}\text{Tc-MAG3}$ 利尿レノグラフィ (非利尿剤投与)

機能および排泄相イメージ

レノグラム

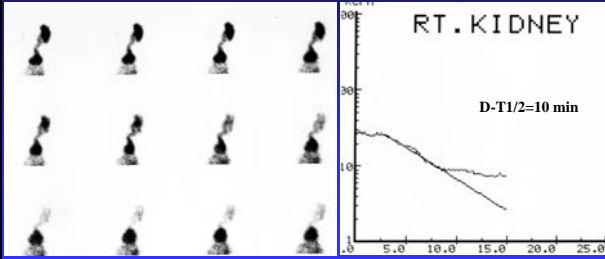


Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

^{99m}Tc-MAG3利尿レノグラフィ (利尿剤投与)

利尿シンチグラム

利尿レノグラム



Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

利尿レノグラムの特長

閉塞性および非閉塞性尿路拡張および水腎症を鑑別するための検査

利点

1. 非侵襲的、繰り返し検査可能
2. 尿通過の定量的評価が可能
3. 偽陰性例は比較的少ない

欠点

1. 10~15%前後の偽陽性例がある。
 - a) 不十分な利尿効果
 - b) 拡大した腎盂・腎杯
 - c) 腎実質機能の低下

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

静態腎シンチグラフィ

1. 放射性医薬品

^{99m}Tc-DMSA

2. 検査方法

- ・ 水負荷必要なし
- ・ 静注後2時間以降に背面3方向の撮像。
- ・ pin-holeコリメータ, SPECT検査の追加

3. 留意点

- ・ 病的集積低下と解剖学的集積低下 (髄質, interrenicular septum) との鑑別
- ・ SPECT検査時の体軸表示と腎軸表示の違い

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

静態腎シンチグラフィ

1. 所見の判断

- ・ 集積は腎皮質にしか観察されない
- ・ 腎髄質, 腎盂は集積を欠く
- ・ 皮質を横断する集積欠損 (感染後瘢痕は楔状)

2. 適応疾患

- ・ 膀胱-尿管尿管逆流症(VUR)に伴う腎盂腎炎
- ・ 腎炎後の腎瘢痕 (慢性腎盂炎)
- ・ 腎梗塞
- ・ 腎外傷
- ・ 腎腫瘍 (oncocytoma)

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

症例: 11歳、女子

数年まえよりときどき発熱発作があり、泌尿器科で尿路感染症(UTI)として経過観察されていた。

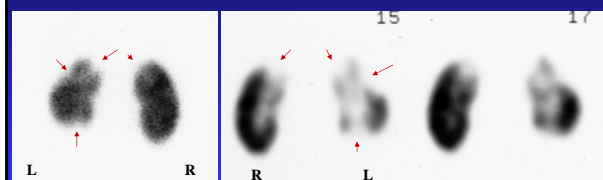
^{99m}Tc-DMSA腎シンチグラフィ

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

^{99m}Tc-DMSA

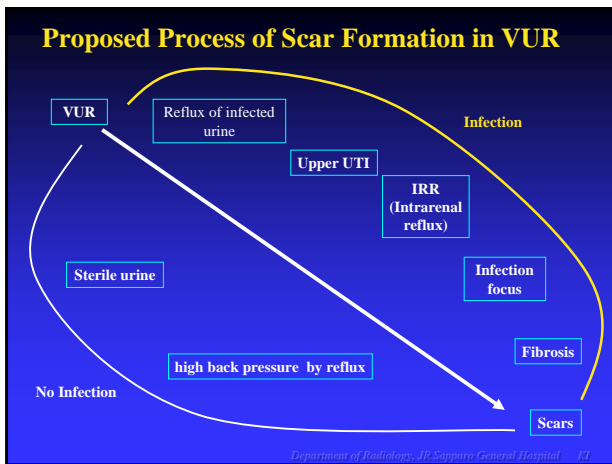
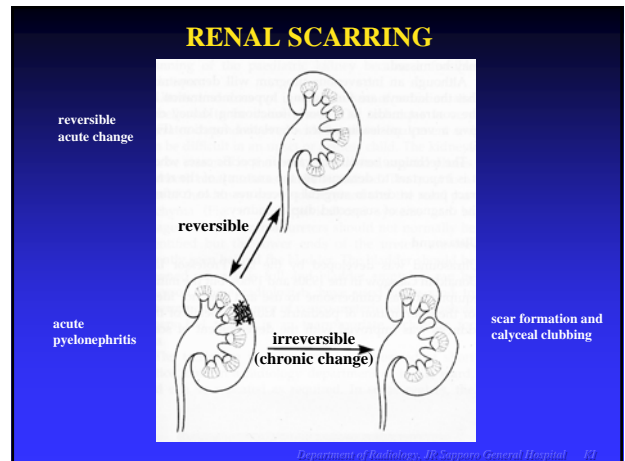
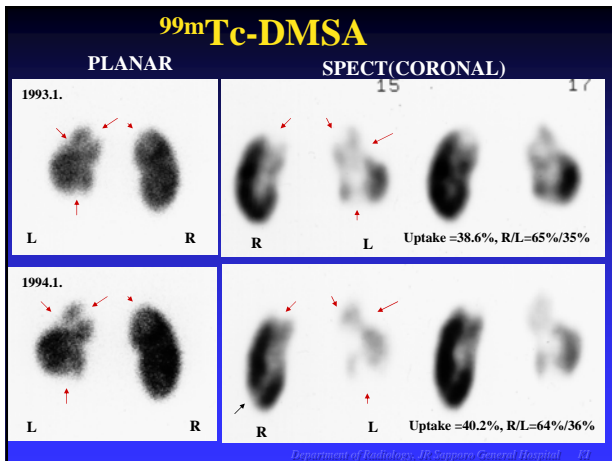
PLANAR

SPECT(CORONAL)



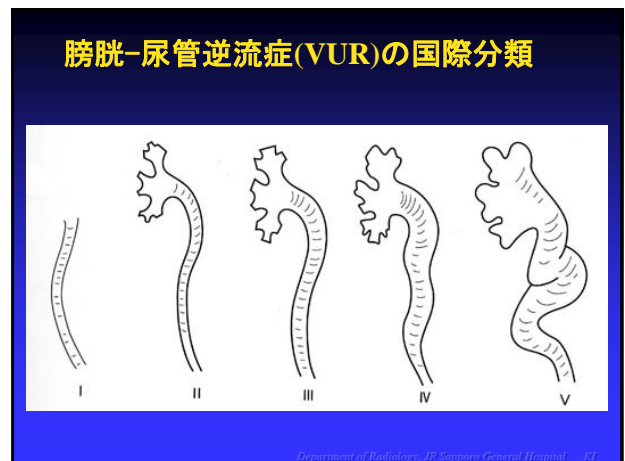
Uptake = 38.6, R/L = 65%/35%

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11



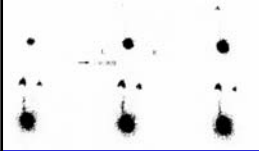
- ### Clinical Importance of ^{99m}Tc-DMSA Scintigraphy
1. The most sensitive method of detecting renal scarring and the most sensitive method of high-lighting the kidney at risk of developing scarring.
 2. "Gold" standard for renal scarring in clinical practice
 3. The potentiality to fall in the number of children who develop end-stage disease by the wider early use.
- Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital

- ### RI-Cystography
1. 放射性医薬品
^{99m}Tc-コロイド, ^{99m}Tc-DTPA
 2. 検査方法
 - ・直接法—尿道カテーテルを膀胱内に挿入
 - ・間接法—腎動態シンチグラフィ2時間後、膀胱fullの状態
 3. 検査適応
膀胱尿管逆流症の診断
 4. 特徴
 - ・X線造影検査と比較してより生理的条件での検査
 - ・X線検査に比較して性腺被曝が少ない
 - ・直接法は間接法に比較して約100分の1の性腺被曝
 - ・膀胱内圧同時モニターにてUIBC（無抑制膀胱収縮）と逆流の関係を解析可能
 5. 注意点
 - ・排尿時周囲尿汚染に対する工夫が必要
- Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital

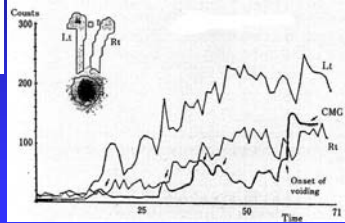


9歳, 女兒, UTI+VUR

RI-Cystography



RI-Cystography+CMG



Department of Radiology, JR Sapporo General Hospital

精巣シンチグラフィ

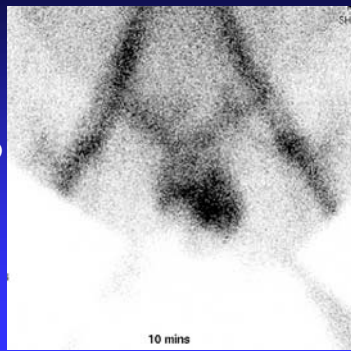
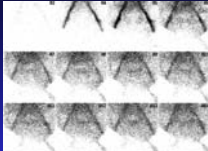
- 放射性医薬品
^{99m}Tc-pertechnetate, ^{99m}Tc-HSA, ^{99m}Tc-RBC
- 検査方法
 ・背臥位, 立位(静脈瘤)
 ・血流相イメージ+早期血液プールイメージ
- 所見
 ・血流および病変部分低下(cold)
 ・急性精索捻転
 ・陰嚢水腫
 ・血流および病変部分分布亢進(hot)
 ・急性精巣炎
 ・精索静脈瘤
- 適応疾患
 ・急性精索捻転と急性精巣炎の鑑別
 ・陰嚢水腫と腫瘍との鑑別
 ・不妊原因の精索静脈瘤
- 注意点
 ・Penisと陰嚢とのかさなりを防ぐ(penisを上方に固定)

Department of Radiology, JR Sapporo General Hospital

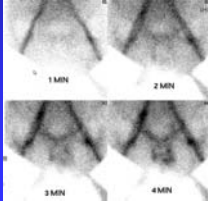
Testicular Scintigraphy with ^{99m}Tc-HSA/D

Perfusion Image (5 sec)

Blood Pool Image (10 min-IV)



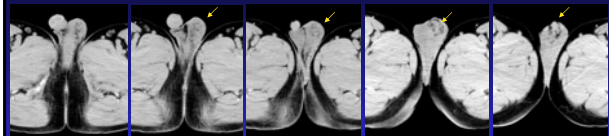
Sequential Image (1 min)



Department of Radiology, JR Sapporo General Hospital

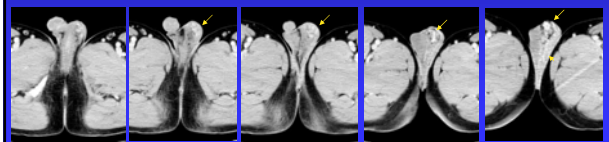
CT Scan

Plain



R L

Contrast Enhanced



Department of Radiology, JR Sapporo General Hospital

腎臓の働き

体内代謝により生成された代謝産物の体外排泄
 ↓
 血液浄化装置

腎臓の働きの計測法

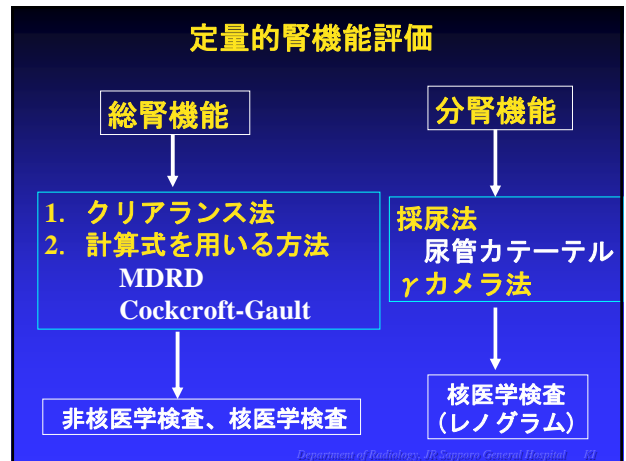
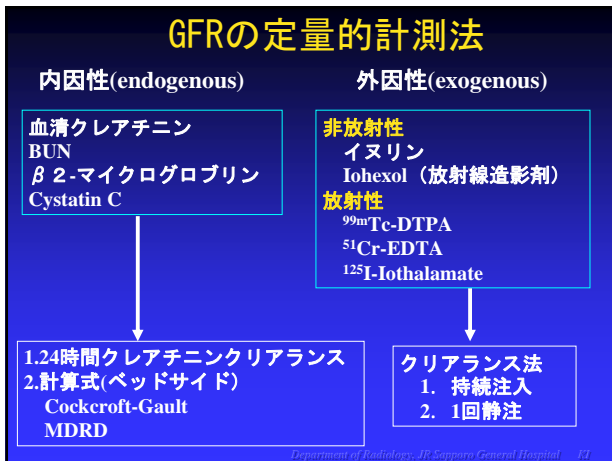
腎機能は糸球体濾過率 (GFR) により代表される

Department of Radiology, JR Sapporo General Hospital

GFRの指標となる物質

- | | | |
|-----------------|---|--|
| 内因性(endogenous) | → | 血清クレアチニン
BUN
β 2-マイクログロブリン
Cystatin C |
| 外因性(exogenous) | → | 非放射性
イヌリン
Iohexol (放射線造影剤)
放射性
^{99m} Tc-DTPA
⁵¹ Cr-EDTA
¹²⁵ I-Iothalamate |

Department of Radiology, JR Sapporo General Hospital



Definition and Classification of Stages of Chronic Kidney Disease

Definition:

1. kidney damage (GFR \geq 60 ml/min/1.73 m²)
2. GFR < 60 ml/min/1.73 m² for \geq 3 months

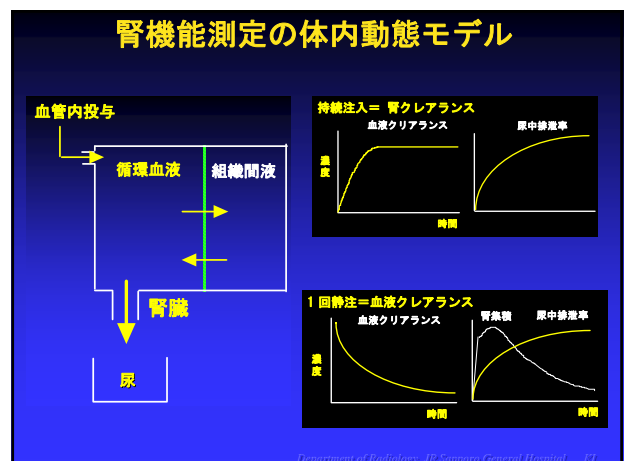
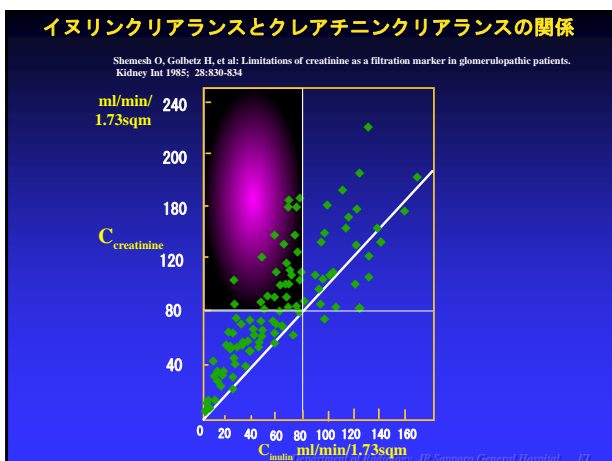
Kidney damage:
pathological abnormalities or markers of damage, including abnormalities in blood or urine or imaging studies.
(病理学的異常あるいは血液、尿、画像診断での異常)

Stages of Chronic Kidney Disease (CKD)

Stage	Description	GFR (ml/min/1.73 m ²)
1	Kidney damage with normal or increased GFR	\geq 90
2	Kidney damage with mild \downarrow GFR	89 - 60
3	Moderate \downarrow GFR	59 - 30
4	Severe \downarrow GFR	29 - 15
5	Kidney failure	<15

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11

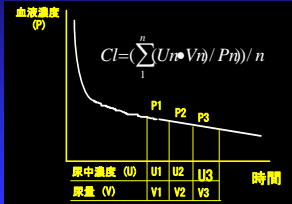
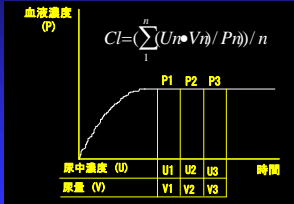
- ### Estimation of GFR
1. The best indicator of the level of the kidney function = GFR
 2. GFR の算出方法 = 算出式 (血清クレアチニン値, 年齢, 性, 体格, 民族)
 - 成人: Cockcroft-Gault, MDRD (GFR \geq 30 ml/min/1.73 m²)
 - 小児: Schwartz, Counaham-Barratt
 3. 血清クレアチニンの単独の値を腎機能レベルの指標として用いてはならない
 4. 蓄尿法で算出されたクレアチニンクリアランス (CCr) は決して上記算出式で得られたGFR値の精度向上にむすび着かない。つまり24時間CCr法は通常の腎機能定量法としては不要で、以下の場合に利用される。
 - 1) 肉食主義者, 筋容積の変化 (四肢切断, 異栄養, 筋疲労)
 - 2) 食事や栄養状態の確認
 - 3) 透析開始時
- Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 11



腎クリアランス測定法

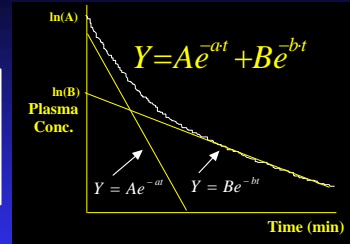
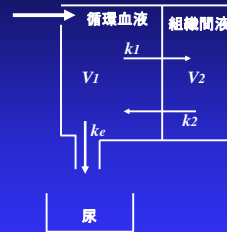
持続注入法

1回静注平衡時採血・採尿法



Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, FI

多点採血法 (2-コンパートメント) 解析法



$$k_2 = (A + B) / (A + B)$$

$$k_e = ab / k_2$$

$$k_1 = (a + b) - (k_e + k_2)$$

$$V_1 = ID / (A + B)$$

$$V_2 = (k_1 / k_2) \times V_1$$

$$V_d = V_1 + V_2 = V_1 (1 + k_1 / k_2)$$

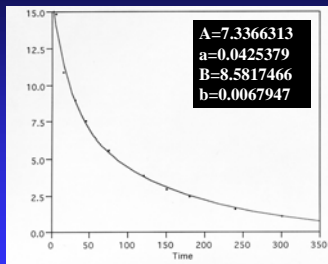
$$Cl = k_e \times V_d$$

$$= ID \times (ab / (A + B))$$

Sapirstein LA, Vahl DG, Mandel MJ, Hanesek G. Volumes of distribution and clearances of intravenously injected creatinine in the dog. Am J Physiol 181:330-336, 1955.

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, FI

Example of Determination of GFR by 2-Compartment Model



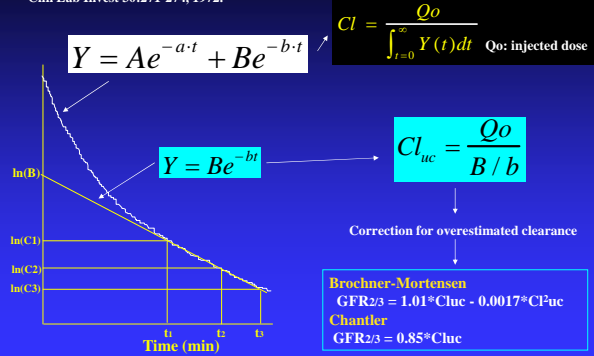
Case Profile
 Case (KS): 61yo, Female
 BW=55.1 kg
 Height=158 cm
 BSA=1.55 m²
 BUN=12.3 mg/dl
 S-Cr=0.64 ,g/dl
 24HCr=137.6 ml/min/1.46m²

Cl = 69.66 ml/min
= 77.75 ml/min/1.73m²

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, FI

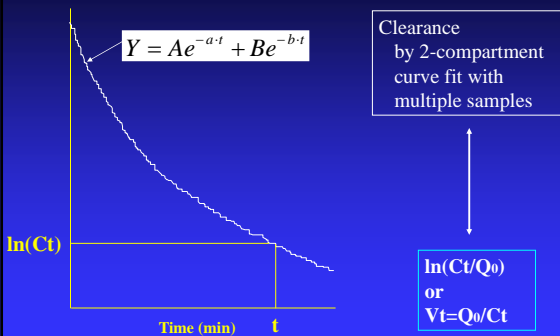
Mono-compartment model (2 or 3 samples)

Brochner-Mortensen J. A simple method for determination of glomerular filtration rate. Scan J Clin Lab Invest 30:271-274, 1972.



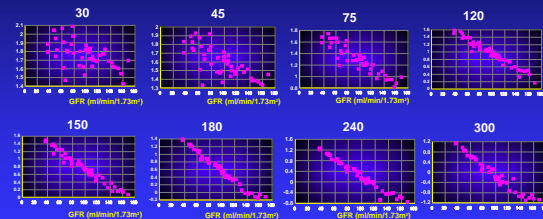
Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, FI

Single-Plasma Sample Clearance Method (Empirical)



Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, FI

Relationship between true GFR in the X-axis and plasma concentration (%ID/L/1.73 m²) in the Y-axis at all 10 sampling times. The number indicates the sampling time.



Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, FI

採血法による核医学的腎機能定量評価

1. 放射性医薬品

^{99m}Tc-DTPA, ^{99m}Tc-MAG3, ¹³¹I-, ¹²³I-Hippuran

2. 検査の特徴

- ・ 総腎機能の定量評価に優れている。
- ・ well counterが必要。
- ・ 1-, 2-compartment法で算出したデータとの経験的相関式
- ・ 測定精度は多点 > 2点採血 > 1点採血 > ガンマカメラ法
- ・ 浮腫, GFR 20ml/min以下の症例における精度は低い
- ・ 小児と成人では採血時間, 算出式が異なる。
- ・ 報告者により算出式が異なる。
- ・ 投与量はシンテグラフイの約300分の1以下。単独検査としては保険適応なし。

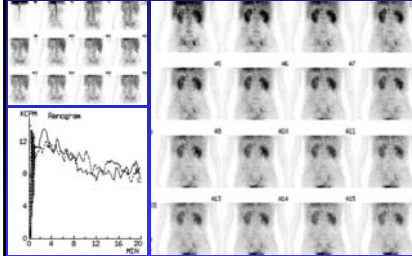
Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

Example of GFR Calculation by means of DW-Scintillation Counter using ^{99m}Tc-DTPA

46 ys, female, Multiple Myeloma during chemotherapy

DW-Scintillation Data			
1.Pre-injection dose	1.85x10 ⁸ Bq (5 mCi)		
2.Residual Radioactivity	1.57x10 ⁷ Bq		
3.Half correction	1.69x10 ⁷ Bq		
3.Total IV dose	1.69x10 ⁸ Bq (4.6 mCi)		
4.1-point sample at 180 min			
mU/30 sec	cts	Net (Bq/ml) corrected	Dilution
S-1	9682	4.32x10 ⁻³	8.41x10 ⁻³
S-2	9624	4.83x10 ⁻³	8.30x10 ⁻³

Blood Perfusion Parenchymal and Drainage (/min)



Estimated GFR by 1-Point Sample

Method	ml/min	ml/min/1.73m ²
CG	29.4	33.4
GA	27.1	30.6
1pt	29.5	33.4

Gates=39.8 ml/min

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

Equations developed to predict GFR in adults based on serum creatinine

Cockcroft-Gault (Cockcroft, 1976, *Nephron* 16:31-41)

$$CCr \text{ (ml/min)} = ((140 - \text{age}) \times \text{weight}) / (72 \times \text{Scr}) \times (0.85 \text{ if female})$$

$$GFR \text{ (ml/min/1.73 m}^2\text{)} = (CCr \times 0.80) \times 1.73 / \text{BSA}$$

MDRD (Levey, 1999, *Ann Intern Med* 130:461-470)

Original

$$GFR \text{ (ml/min/1.73 m}^2\text{)} = 170 \times (\text{Scr})^{-0.999} \times (\text{age})^{-0.176} \times (\text{SUN})^{-0.170} \times (\text{alb})^{-0.318} \\ \times (0.762 \text{ if female}) \times (1.180 \text{ if black})$$

Simplified (Levey, 2000, *J Am Soc Nephrol* 11:A0828)

$$GFR \text{ (ml/min/1.73 m}^2\text{)} = 186 \times (\text{Scr})^{-1.154} \times (\text{age})^{-0.203} \\ \times (0.742 \text{ if female}) \times (1.212 \text{ if black})$$

Units: Scr = mg/dL, weight = kg, BUN = mg/dL, alb = g/dL

MDRD: Modification of Diet in Renal Disease

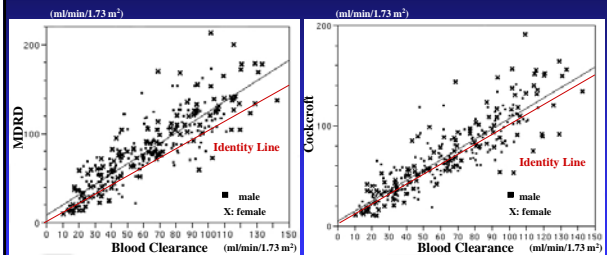
Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

結果 1

血液サンプリング法と推奨算出式の比較

MDRD

Cockcroft-Gault



$$Y=9.17+ 1.155X \\ r=0.8583, RMSE = 21.19, <0.001$$

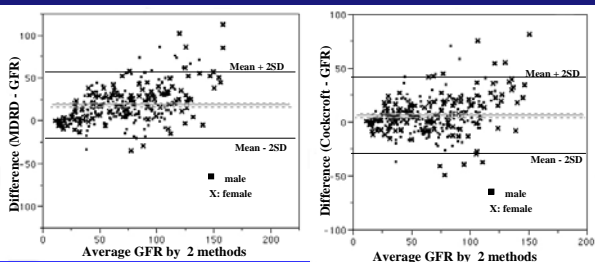
$$Y=5.24 + 1.02X \\ r=0.8745, RMSE = 17.38, <0.001$$

Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

Bland-Altman's Agreement analysis of GFR between blood sample method and predicted equation methods

MDRD vs Blood Sample

Cockcroft-Gault vs Blood Sample



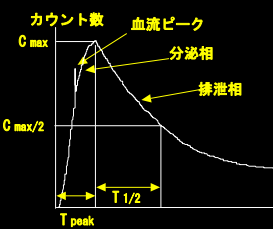
	BSM	MDRD	MDRD/BSM
Mean	61.5	80.2	1.30

	BSM	Cockcroft	Cockcroft/BSM
Mean	61.5	68.0	1.10

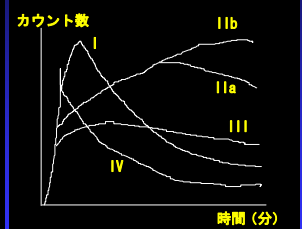
Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

レノグラムの分類

1. 通過時間



2. パターン



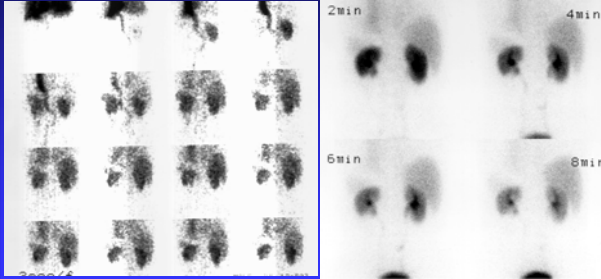
Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital 71

Renal Scintigraphy with ^{99m}Tc-MAG3

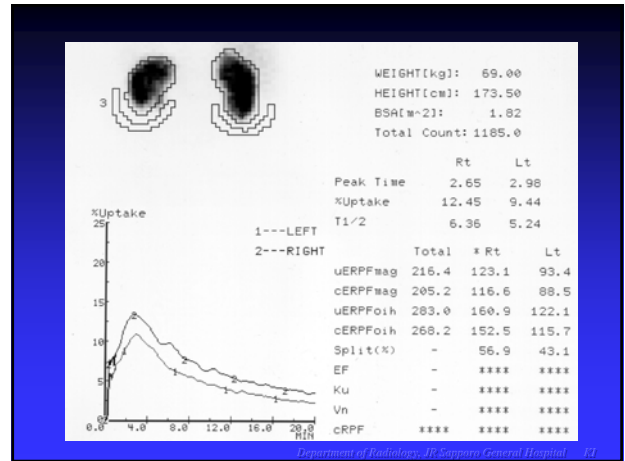
67歳, 男性, 解離性胸部大動脈瘤置換術後

PERFUSION IMAGE

DRAINAGE IMAGE



Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, 11



Department of Radiology, JF Sapporo General Hospital, 11