

電子ビームCTを用いた冠動脈バイパスグラフトの三次元CT血管造影法

Three-Dimensional Computed Tomography Angiography of Coronary Artery Bypass Graft With Electron Beam Tomography

星 俊子
山内 辰雄
叶内 哲
近野みゆき
今井 嘉門^{*1}
諏訪 二郎^{*1}
小野口勝久^{*2}
橋本 和弘^{*2}
堀江 俊伸^{*1}

Toshiko HOSHI, MD
Tatsuo YAMAUCHI, RT
Tetsu KANAUCHI, MD
Miyuki KONNO, MD
Kamon IMAI, MD, FJCC^{*1}
Jiro SUWA, MD^{*1}
Katsuhisa ONOBUCHI, MD^{*2}
Kazuhiro HASHIMOTO, MD^{*2}
Toshinobu HORIE, MD, FJCC^{*1}

Abstract

Objectives. Assessment of coronary artery bypass graft patency by three-dimensional reconstructed computed tomography angiography(3D-CTA)derived from electrocardiography-gated contrast-enhanced electron beam tomography(EBT)was evaluated.

Methods. Thirty-nine patients with 99 grafts(45 arterial grafts and 54 venous grafts)underwent 3D-CTA and selective coronary angiography within a 3-week interval. 3D-CTA images of the coronary bypass grafts were compared with the coronary angiography images used as the control.

Results. 3D-CTA defined 42 of 44 arterial grafts as patent(sensitivity: 95%), all 47 venous grafts as patent(sensitivity: 100%)and all 7 venous grafts as occlusive(specificity: 100%). The overall sensitivity and specificity were 98 % and 88%, respectively.

Conclusions. 3D-CTA is an useful noninvasive technique with adequate sensitivity and specificity to assess coronary artery bypass graft patency.

J Cardiol 2001 Oct; 38(4): 197 - 202

Key Words

Coronary artery disease Aortocoronary bypass Electron beam CT
Angiography(three-dimensional CT)

はじめに

冠動脈バイパスグラフト術は虚血性心疾患の治療法として確立された手術法であり、術後のバイパスグラフトの開存性を評価することは患者の経過観察に重要

である。現在、その評価は血管造影により行われているが、血管造影は多くの場合、入院の必要な侵襲的検査法で、術後慢性期の外来患者に定期的に行うのは難しいため、非侵襲的な検査法の確立が望まれる。

近年、ワークステーションの発達によりコンピュー

埼玉県立循環器・呼吸器病センター 放射線科, ^{*1}循環器内科, ^{*2}心臓血管外科: 〒360-0105 埼玉県大里郡江南町板井1696

Departments of Radiology, ^{*1} Cardiology, and ^{*2} Cardiovascular Surgery, Saitama Cardiovascular and Respiratory Center, Saitama
Address for correspondence: HOSHI T, MD, Department of Radiology, Saitama Cardiovascular and Respiratory Center, Itai 1696, Konan-machi, Osato-gun, Saitama 360-0105

Manuscript received March 5, 2001; revised June 21, 2001; accepted June 21, 2001

RT = radiological technologist

ター断層撮影(computed tomography: CT)画像から簡単に明瞭な三次元画像の作成が可能になった。今回、我々は電子ビームCTを用いた三次元CT血管造影(three-dimensional CT angiography: 3D-CTA)でバイパスグラフトの開存性を評価し、良好な結果が得られたので報告する。

対象と方法

対象は、当施設で1999年5月-2000年8月に3D-CTAと血管造影による選択的グラフト造影を3週間以内(平均6.5日)に施行した連続41例のうち、三次元画像作成が可能な良好な画像を撮影できた39例、バイパスグラフト99本である。この期間に当施設では選択的グラフト造影を70例に行っているが、ランダムに41例が選択されている。対象の内訳は男性30例および女性9例で、年齢は47-82歳(平均年齢65.1歳)である。冠動脈バイパスグラフト術から3D-CTAまでの期間は11日-14年で、1ヵ月以内の症例が25例、1ヵ月以上の慢性期症例が14例である。バイパスグラフトの内訳は、動脈グラフト45本(左内胸動脈-前下行枝33本、右内胸動脈-前下行枝1本、右内胸動脈-回旋枝1本、右内胸動脈-右冠動脈1本、胃大網動脈-回旋枝1本、橈骨動脈グラフト-前下行枝1本、橈骨動脈グラフト-回旋枝7本)および静脈グラフト54本(静脈グラフト-前下行枝11本、静脈グラフト-回旋枝22本、静脈グラフト-右冠動脈21本)である。

電子ビームCTの撮影装置はImatron製C-100XPを用い、スキャン時間100msecのStep Volume Scanで心電図同期下(RR45%)に撮影した。スライス厚は3mmで、テーブル移動は1スライス当たり2.5または3mmとした。撮影枚数は34-54枚、平均43枚で、全断面を1回の呼吸停止下に撮影した。

造影剤はイオパミドール370を使用し、右肘静脈から毎秒2.5mlの速度で、110-135ml、平均114mlを注入し、注入開始から20-35秒(平均30秒)後に撮影を開始した。最初の15症例では撮影の前に造影剤15mlを用いて、フローモードで上行大動脈への造影剤到達時間を計り、撮影開始のタイミングを決めていたが、その後は造影剤の全用量を少なくするために造影剤到達時間の測定は行わず、心機能が著しく低下している症例を除いては注入開始から30秒後に撮影を開始した。

三次元再構成はAccuImage製AccuVRTを用いてボリュームレンダリング法で行った。三次元画像作成に要する時間は15分程度であった。

血管造影はSiemens製BICOR HSを用い、選択的グラフト造影を行った(Fig. 1)。

3D-CTAは放射線科専門医2名によって選択的グラフト造影の情報なしにバイパスグラフト開存について評価を行った。選択的グラフト造影は2名以上の循環器内科医によってバイパスグラフト開存の評価を行った。選択的グラフト造影の結果をゴールドスタンダードとして3D-CTAの診断能を評価した。

結 果

選択的グラフト造影で開存が確認された動脈グラフト44本中42本の開存を3D-CTAで確認でき、感度は95%であった。閉塞は1本と少ないため、特異度は評価できなかった。この閉塞とした1本は術後22日目に左冠動脈の造影で前下行枝吻合部から左内胸動脈にかけてto-and-froを呈していたため機能的閉塞と判断し、選択的グラフト造影で閉塞と判定されたが、3D-CTAでは造影されていた。3D-CTAを行った7日前には開存していた可能性がある。

静脈グラフトは開存していた47本すべてを3D-CTAでも開存と評価した。閉塞していた7本すべてを3D-CTAでも閉塞と評価し、感度100%、特異度100%であった。両者を合わせると、感度は98%、特異度は88%であった(Table 1)。

考 察

近年、CT撮影装置とワークステーションの発達により三次元画像が簡単に作成でき、臨床的にも有用性が評価されるようになってきた。たとえば、大動脈瘤の三次元画像は瘤の立体的形態把握を容易にし、手術術式の決定や大動脈ステントグラフトの挿入プラン決定に役立っている¹⁾。また、脳動脈瘤の検索や形態的な検討にも三次元画像の有用性が認知されている²⁾。しかし、冠動脈および冠動脈バイパスグラフトは、心拍動のために三次元画像による検討ははるかに困難で、臨床的な有用性が検討され始めたのは最近のことである^{3,4)}。撮影時間が1断面100msecと短く、心電図同期の可能な電子ビームCTと処理能力の高いワークステーションの組み合わせで、初めてバイパスグラフ

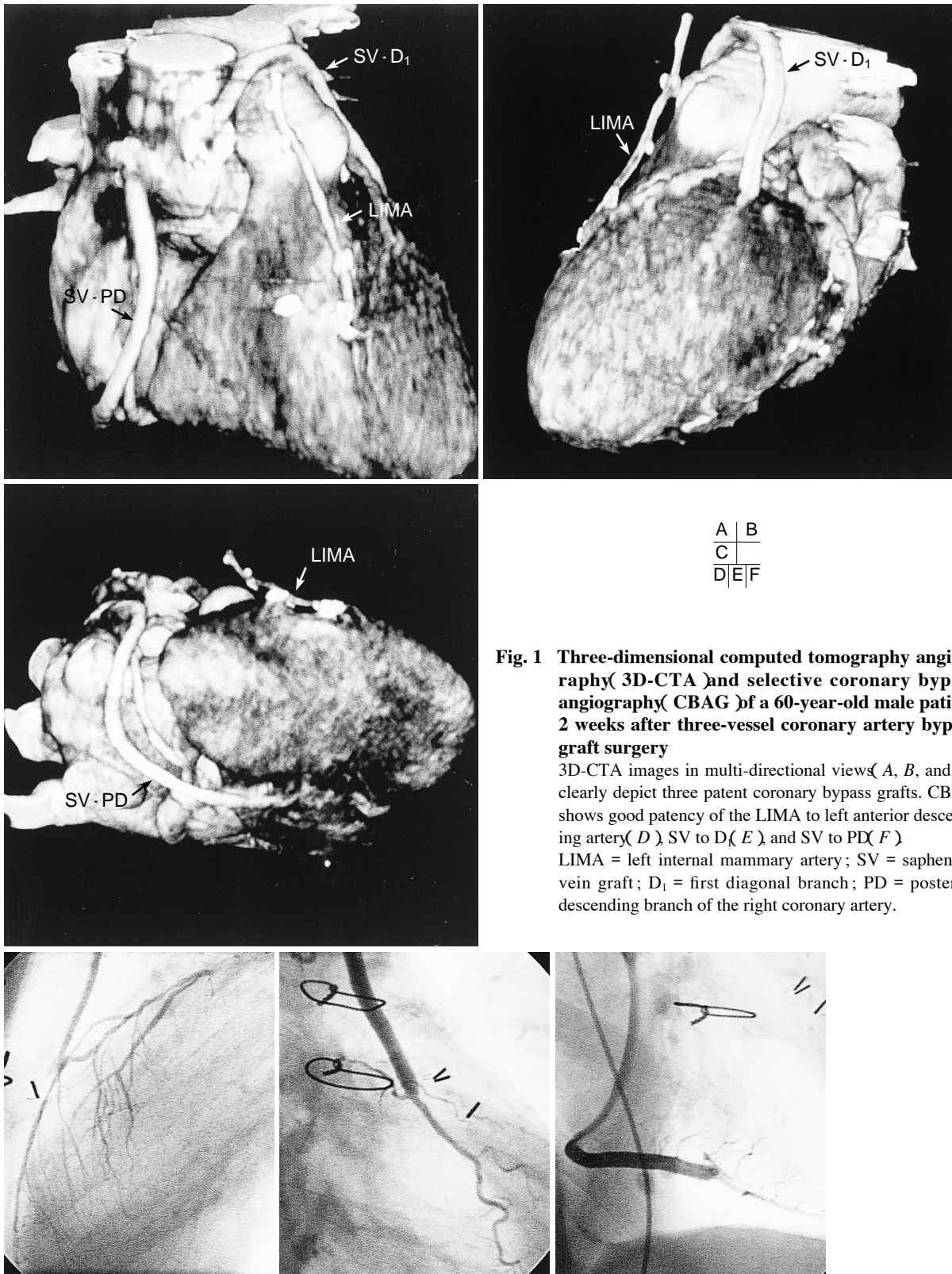


Fig. 1 Three-dimensional computed tomography angiography (3D-CTA) and selective coronary bypass angiography (CBAG) of a 60-year-old male patient 2 weeks after three-vessel coronary artery bypass graft surgery

3D-CTA images in multi-directional views (A, B, and C) clearly depict three patent coronary bypass grafts. CBAG shows good patency of the LIMA to left anterior descending artery (D), SV to D (E), and SV to PD (F).

LIMA = left internal mammary artery; SV = saphenous vein graft; D₁ = first diagonal branch; PD = posterior descending branch of the right coronary artery.

Table 1 Results of the control study to evaluate the sensitivity and specificity of assessing coronary artery bypass graft patency with 3D-CTA

| | Arterial grafts(n = 45) □ | | Venous grafts(n = 54) □ | | All grafts(n = 99) □ | |
|--------------|-----------------------------|-----------|---------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| | CAG | | CAG | | CAG | |
| | Patent | Occlusive | Patent | Occlusive | Patent | Occlusive |
| EBT□ | | | | | | |
| □ Patent□ | 42□ | 1□ | 47□ | 0□ | 89□ | 1□ |
| □ Occlusive□ | 2□ | 0□ | 0□ | 7□ | 2□ | 7□ |
| Sensitivity□ | 95%□ | | 100%□ | | 98%□ | |
| Specificity□ | - □ | | 100%□ | | 88%□ | |

CAG = coronary angiography. Other abbreviations as in Fig. 1.

トの三次元画像が簡便に作成できるようになり臨床応用が可能となった。

今回検討した3D-CTAを行った連続41例中39例(95%)は、三次元画像でバイパスグラフトの開存性の評価が可能であった。評価ができなかった2例は初期の例で、撮影手技のトラブルで造影のタイミングが遅れた例と患者の息止め不良により体動のアーチファクトが強い例であった。息止めの必要性を十分に説明すれば、ほとんどの患者が三次元画像作成に必要な息止めが可能であった。

本法でのバイパスグラフト開存性の評価は、静脈グラフトでは感度100%、特異度100%と良好な結果であった。動脈グラフトは静脈グラフトに比べて細く、また、近接する外科クリップのアーチファクトのため三次元画像では一部で連続性がはっきりしない症例もあったが、開存性の評価は多くの例で可能で感度95%であった。

バイパスグラフトの遠位吻合部は、吻合血管の太さ、血管の造影剤濃度、撮影面との角度などの要因で三次元描出が明瞭な場合とそうでない場合があり、我々の用いた方法では吻合部狭窄の正確な評価は難しかった。選択的グラフト造影では99本中4本で90%の吻合部狭窄がみられたが、3D-CTAではこのうち1本を閉塞と評価し、1本は連続性が不良だが開存しているとし、残りの2本は開存と評価した。90%以上の強い狭窄がある場合、三次元画像でのバイパスグラフトの描出が不良になる傾向はあるものの、吻合部狭窄の正確な評価は困難であった。したがって、今回の結果からは、術後の選択的グラフト造影を完全に3D-CTAに置き換えるというわけにはいかない。しかし、外来で

バイパスグラフトの経過観察をしていくうえで、スクリーニング検査としては十分に役立つと考える。

これまで電子ビームCTを用いたバイパスグラフト開存性評価についての報告は数多くみられるが、フローモードを用いたものが多い⁵⁻⁷⁾。フローモード法は、造影剤を注入しながらバイパスグラフトの同一断面を連続撮影し、得られた画像のバイパスグラフト断面と大動脈に関心領域を設定して時間-濃度曲線を描き、バイパスグラフトと大動脈が同じピークであれば開存と評価する方法である。感度および特異度はそれぞれ93-96%、89-97%と、かなり良い値が報告されている。ただし、これらの報告では動脈グラフトの割合は少ないため、数字のみを我々の結果と比較することはできない。また、フローモードによる評価はバイパスグラフト断面の評価で、バイパスグラフト全長の評価ではない。3D-CTAを用いるとバイパスグラフト全長が視覚的に把握できる点で優れていると考える。

また、Hamadaら⁸⁾は、日本人のバイパスグラフトをフローモードを用いて検討しているが、その中で日本人は欧米人に比べて内胸動脈の血管径が細いため感度が劣ると述べている。この点については3D-CTAを用いた評価でも同様のことがいえる。体格がよく、血管も太い欧米人のデータを日本人にそのまま当てはめることはできず、日本人独自のデータの集積が必要と考える。

3D-CTAを用いたバイパスグラフトの評価に関する報告が最近散見される⁹⁾が、選択的グラフト造影の結果と比較した報告はAchenbachら¹⁰⁾の25例56本のバイパスグラフト評価と、Haら¹¹⁾の25例49本のバイパスグラフト評価の2編にすぎない。前者では感度およ

び特異度は、ともに100%とされており、後者は動脈グラフトでは感度は80%および特異度は82.4%で、静脈グラフトではそれぞれ91.7%および94.1%であった。東洋人ということ考えると後者の報告が我々のものと近いと思うが、症例をさらに増やした我々の結果は動脈グラフトでは感度95%、静脈グラフトでは感度100%、特異度100%、全体で感度は98%、特異度は88%であり、良好な結果であった。これらの結果から、3D-CTAはバイパスグラフト開存を評価する低侵襲の検査としては十分有用な検査と位置づけられる。

また、spiral CTを用いた三次元画像のバイパスグラフトの評価^{12,14)}では静脈グラフトは比較的良好な結果が得られるが、動脈グラフトでは、細いために精度が低下するとされている。Multidetector CTは、現在急速

に普及しつつある。ボリュームデータから作成したretrospective gatingでの冠動脈の三次元画像が現在検討されつつある¹⁵⁾。現時点では心拍数の多寡で心拍動制御に限界があり、臨床的に使用できるのは限られた症例である。

3D-CTAは造影剤を比較的大量に投与する必要があるため、腎機能低下例には施行できないという限界がある。

結 論

3D-CTAを用いて冠動脈バイパスグラフトの開存性を評価したところ、良好な結果が得られた。本法は、外来患者に施行可能な低侵襲の検査で、バイパスグラフトの長期経過観察などに有効と考える。

要 約

目 的: 冠動脈バイパスグラフトの開存性を評価するため、電子ビームコンピューター断層撮影(CT)を用いた三次元CT血管造影法(3D-CTA)を施行し、その有用性について検討した。

方 法: 対象は3D-CTAと選択的グラフト造影を3週間以内に施行した連続41例のうち、三次元画像作成可能な画像を撮影できた39例、グラフト99本である。グラフトの内訳は、動脈グラフト45本、静脈グラフト54本である。3D-CTAの診断能は選択的グラフト造影をゴールドスタンダードとして評価した。

結 果: 選択的グラフト造影で開存が確認された動脈グラフト44本中42本の開存を3D-CTAで確認でき、感度は95%であった。閉塞は1本と少ないため、特異度は評価できなかった。静脈グラフトは開存していた47本すべてを3D-CTAでも開存と評価した。閉塞していた7本すべてを3D-CTAでも閉塞とし、感度100%、特異度100%であった。両者を合わせると感度は98%、特異度は88%であった。吻合部の評価は一部の症例のみで可能であった。

結 論: 3D-CTAによる冠動脈バイパスグラフトの開存性の評価は、外来患者に可能な低侵襲の検査でバイパスグラフトの長期経過観察などに有効と考える。

J Cardiol 2001 Oct; 38(4): 197-202

文 献

- 1) Ishiguchi T: Aortic imaging for endovascular stent-grafting: Evaluation with helical CT and MR angiography. *Intervent Radiol* 2000; **15**: 319-323 (in Jpn with Eng abstr)
- 2) Tanabe S, Ohtaki M, Uede T, Minamida Y, Ibayashi Y, Hashi K: Possibility of aneurysmal clipping with CT angiography: Is DSA necessary in the evaluation of cerebral aneurysms? *Jpn J Clin Radiol* 1998; **43**: 1677-1684 (in Jpn with Eng abstr)
- 3) Achenbach S, Moshage W, Bachmann K: Noninvasive coronary angiography by contrast-enhanced electron beam computed tomography. *Clin Cardiol* 1998; **21**: 323-330
- 4) Budoff MJ, Oudiz RJ, Zalace CP, Bakhsheshi H, Goldberg SL, French WJ, Rami TG, Brundage BH: Intravenous three-dimensional coronary angiography using contrast enhanced electron beam computed tomography. *Am J Cardiol* 1999; **83**: 840-845
- 5) Stanford W, Brundage BH, MacMillian R, Chomka EV, Bateman TM, Eldredge WJ, Lipton MJ, White CW, Wilson RF, Johnson MR, Marcus ML: Sensitivity and specificity of assessing coronary bypass graft patency with ultrafast computed tomography: Results of a multicenter study. *J Am Coll Cardiol* 1988; **12**: 1-7
- 6) Bateman TM, Gray RJ, Whiting JS, Sethna DH, Berman DS, Matloff JM, Swan HJC, Forrester JS: Prospective evaluation of ultrafast cardiac computed tomography for

- determination of coronary bypass graft patency. *Circulation* 1987; **75**: 1018 - 1024
- 7) Baumgartner F, Brundage B, Bleiweis M, Lee J, Ferrario T, Georgiou D, Milliken J: Feasibility ultrafast computed tomography in the early evaluation of coronary bypass patency. *Am J Card Imaging* 1996; **10**: 170 - 174
- 8) Hamada S, Takamiya M, Sasako K: The evaluation of coronary artery bypass graft patency with ultrafast CT : By reference to IVDSA. *Jpn J Med Imaging* 1993; **12**: 32 - 41 (in Jpn with Eng abstr)
- 9) Dai R, Zhang S, Lu B, Cao C, He S, Bai H, Jing B: Electron-beam CT angiography with three-dimensional reconstruction in the evaluation of coronary artery bypass grafts. *Acad Radiol* 1998; **5**: 863 - 867
- 10) Achenbach S, Moshage W, Ropers D, Nossen J, Bachmann K: Noninvasive, three-dimensional visualization of coronary artery bypass grafts by electron beam tomography. *Am J Cardiol* 1997; **79**: 856 - 861
- 11) Ha JW, Cho SY, Shim WH, Chung N, Jang Y, Lee HM, Choe KO, Chung WJ, Choi SH, Yoo KJ, Kang MS: Noninvasive evaluation of coronary artery bypass graft patency using three-dimensional angiography obtained with contrast-enhanced electron beam CT. *Am J Roentgenol* 1999; **172**: 1055 - 1059
- 12) Ueyama K, Ohashi H, Tsutsumi Y, Kawai T, Ueda T, Ohnaka M: Evaluation of coronary artery bypass grafts using helical scan computed tomography. *Catheter Cardiovasc Interv* 1999; **46**: 322 - 326
- 13) Tello R, Costello P, Ecker C, Hartnell G: Spiral CT evaluation of coronary artery bypass graft patency. *J Comput Assist Tomogr* 1993; **17**: 253 - 259
- 14) Engelmann MG, von Smekal A, Knez A, Kurzinger E, Huehns TY, Hoffling B, Reiser M: Accuracy of spiral computed tomography for identifying arterial and venous coronary graft patency. *Am J Cardiol* 1997; **80**: 569 - 574
- 15) Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U, Kachelreiss M, Ropers D, Giesler T, Bautz W, Daniel WG, Kalender WA, Moshage W: Noninvasive coronary angiography by retrospective ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation* 2000; **102**: 2823 - 2828