



MAURICIO LEAL DIAS MONGON

**TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE COTOS EM
AMPUTAÇÕES TRANSTIBIAIS. PROPOSTA DE UM NOVO
RETALHO OSTEOPERIOSTEAL PARA PONTE ÓSSEA**

***CORTICAL TIBIAL OSTEOPERIOSTEAL FLAP
TECHNIQUE TO ACHIEVE A BONY BRIDGE DURING
TRANSTIBIAL AMPUTATION OF ADULTS.***

**CAMPINAS
2014**



MAURICIO LEAL DIAS MONGON

**TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE COTOS EM AMPUTAÇÕES
TRANSTIBIAIS. PROPOSTA DE UM NOVO RETALHO
OSTEOPERIOSTEAL PARA PONTE ÓSSEA**

Orientador: Prof. Dr. Bruno Livani

***CORTICAL TIBIAL OSTEOPERIOSTEAL FLAP TECHNIQUE TO
ACHIEVE A BONY BRIDGE DURING TRANSTIBIAL AMPUTATION
OF ADULTS.***

Tese de Doutorado apresentada à Pós-Graduação em Ciências da Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Thesis presented to the the Graduate Studies in Science of Surgery, Faculty of Medical Sciences, Universidade Estadual de Campinas to obtain the title of PhD of Science..

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO MAURICIO LEAL DIAS MONGON
E ORIENTADA PELO PROF. DR. BRUNO LIVANI**

Assinatura do Orientador

**Campinas
2014**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Médicas
Maristella Soares dos Santos - CRB 8/8402

M747t Mongon, Mauricio Leal Dias, 1977 -
Técnicas de otimização de cotos em amputações
transtibiais : proposta de um novo retalho osteoperiosteal
para ponte ossea / Mauricio Leal Dias Mongon. --
Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador : Bruno Livani.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Ciências Médicas.

1. Tíbia. 2. Amputação. 3. Retalhos cirúrgicos. I.
Livani, Bruno. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Ciências Médicas. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Cortical tibial osteoperiosteal flap technique to achieve a bony bridge during transtibial amputation of adults

Palavras-chave em inglês:

Tibia

Amputation

Surgical flaps

Área de concentração: Fisiopatologia Cirúrgica

Titulação: Doutor em Ciências

Banca examinadora:

Bruno Livani [Orientador]

Valdir Tercioti Junior

Helder José Lessa Zambelli

Daniel Augusto Carvalho Maranhão

Marcelo Henrique Napimoga

Data de defesa: 18-06-2014

Programa de Pós-Graduação: Ciências da Cirurgia

BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DOUTORADO

MAURÍCIO LEAL DIAS MONGON

Orientador PROF. DR. BRUNO LIVANI

MEMBROS:

1. PROF. DR. BRUNO LIVANI

2. PROF. DR. VALDIR TERCIONI JUNIOR

3. PROF. DR. HELDER JOSÉ LESSA ZAMBELLI

4. PROF.DR. DANIEL AUGUSTO CARVALHO MARANHO

5. PROF.DR. MARCELO HENRIQUE NAPIMOGA

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas

Data: 18 de junho de 2014

Dedico este trabalho...

A Renata e a meus pais, Marinaldo e Rosiléa.

Ansiosamente aguardo a chegada da Lara.

Agradecimentos

Aos meus pais, Marinaldo Mongon e Rosiléa Leal Dias Mongon, sem vocês eu nem existiria, obrigado pelo maior conhecimento que já tive: a definição de amor incondicional.

Às minhas irmãs caçulas, Fernanda e Juliana, com as quais aprendi a dividir, respeitar e crescer. Juntos formamos um trio eclético. Amo vocês. Que o pequeno Leonardo seja bem vindo!

À Renata Porto Mongon, minha amada, coadjuvante e protagonista dessa vida, que demonstra sua grandeza moral em pequenas atitudes cotidianas. Tão pequena e tão grande. Meu amor e admiração. Em pouco tempo seremos três.

Aos parentes: avó Cecilia Leal Dias (in memoriam), tia Cecília Leal Dias (madrinha), tio Cleiton Leal Dias (in memoriam), tia Marlene Ramos Dias e Maria do Carmo Menezes (Mamo). Vocês são parte da minha vida. Muito obrigado pelo amor e carinho sem esperar nada em troca.

Ao meu orientador, amigo, conselheiro, Prof. Dr. Bruno Livani. Admiração, respeito, gratidão etc. São muitas as palavras e pouco o espaço. Entendi, convivendo com o senhor, a diferença entre o excelente profissional e o gênio. Seus ensinamentos transcendem o médico, o humano. Obrigado é pouco para expressar meus sentimentos.

Aos Drs Reinaldo Mistuo Itoda, Alexandre Arruda Lima, Celso Issamu Abe, Flavia Cristina Done, Fernando Kenji Kikuta, Giancarlo Cavenagli, Giovanna Ignacio Medina, Gisele Rissi Zanardi, Gustavo Martins Coelho, Guilherme Grisi Mouraria, Mauro Duarte Caron e Marcos Aurelio Verzani. Tenho orgulho de fazer parte desta equipe. Acima de tudo amigos, meu respeito e admiração.

Ao Dr Rodrigo Eisler de Souza Travizanuto, obrigado pelo apoio e amizade incondicional.

Ao Prof Dr William Dias Belangero, minha admiração e gratidão pelo professor que é.

Aos Drs José Luis Zabeu e Cintia Kelly Bittar, pelos ensinamentos maduros e abalizados.

Aos residentes com os quais muito aprendi ao ensinar. Muito obrigado.

Aos colegas e funcionários do Hospital Estadual de Sumaré – UNICAMP, Hospital das Clínicas da UNICAMP, complexo Hospitalar Ouro Verde - Campinas, Hospital Mário Gatti – Campinas e Hospital Madre Theodora – Campinas.

A toda equipe de pós-graduação da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Em especial a Sra. Renata pelas dicas e apoio com prazos.

Ao Departamento de Anatomia do Instituto de Biologia da Unicamp. Aos técnicos em anatomia: Srs. Paulo Afonso Bernardes e Paulo Francisco dos Santos.

A FAPESP pelo fomento que permitiu nosso treinamento e realização de procedimentos de reconstrução de partes moles que foram a base desse nosso trabalho.

Sinto-me na obrigação de agradecer também aos poucos que me induziram ao erro. Destes abro mão de citar o nome. Mas o agradecimento é sincero, pois foi de erros que tirei muitos dos meus aprendizados mais maduros.

Reflexão Inicial

Texto do Prof. Mario Sergio Cortella

Quando se pensa e se faz o trabalho como obra poética em vez de sofrimento costumaz, sempre vem à mente a questão do “trabalho digno”, isto é, aqueles ou aquelas que se consideram superiores como seres humanos apenas porque têm um emprego socialmente mais valorizado.

Aliás, é sempre nesses casos que entra em cena o famoso “sabe com quem você está falando?”

Um dia procurei representar uma possível resposta científica a essa arrogante pergunta, e, de forma sintética, registrei essa representação em um livro meu chamado A escola e o conhecimento (Cortez); agora, de forma mais extensa e coloquial, aqui vai este relato, partindo do nosso lugar maior, o universo, até chegar a nós.

Hoje, em física quântica, não se fala mais um universo, mas em multiverso. A suposição de que exista um único universo não tem mais lugar na Física. A ciência fala em multiverso e que estamos em um dos universos possíveis. Este tem provavelmente o formato cilíndrico, em função da curvatura do espaço, portanto, ele é finito e tem porta de saída, que são os buracos negros, por onde ele vai minando e se esvaziando. Até 2002, era

quase certo que o nosso universo fosse cilíndrico, hoje já há alguma suspeita de que talvez não. Mas a teoria ainda não foi derrubada em sua totalidade. Supõe-se que este universo possível em que estamos apareceu há 15 bilhões de anos. Alguns falam em 13 bilhões, outros em 18, mas a hipótese menos implausível no momento é que estamos num universo que apareceu há 15 bilhões de anos, resultante de uma grande explosão, que o cientista inglês Fred Hoyle apelidou de gozação de big-bang, e esse nome pegou.

Qual é a lógica? Há 15 bilhões de anos, é como se se pegasse uma mola e fosse apertando, apertando, apertando até o limite, e se amarrasse com uma cordinha. Imagine o que tem ali de matéria concentrada e energia retida! Supostamente, nesse período, todo o universo estava num único ponto adensado, como uma mola apertada e, então, alguém, alguma força – Deus, não sei, aqui a discussão é de outra natureza – cortou a cordinha. E aí, essa mola, o nosso universo está em expansão até hoje. E haverá um momento em que ele chegará ao máximo de elasticidade e irá encolher outra vez. A ciência já calculou que o encolhimento acontecerá em 12 bilhões de anos. Fique tranquilo, até lá você já estará aposentado pelas novas regras.

Você pode cogitar algo que a Física tem como teoria: ele vai encolher e se expandir outra vez. Talvez haja uma lei do universo em que o movimento da vida é expansão e encolhimento. Como é o nosso pulmão, como bate o nosso coração, com sístole e diástole. Como é o movimento do nosso sexo, que expande e encolhe, seja o masculino, seja o feminino. Parece que existe uma lógica nisso, que os orientais, especialmente os chineses e indianos, capturaram em suas religiões, aquela coisa do inspirar e expirar. Parece haver uma lógica nisso, a ciência tem isso como hipótese.

Assim, há 15 bilhões de anos, houve uma grande explosão atômica, que gerou uma aceleração inacreditável de matéria e liberação de energia. Essa matéria se agregou formando o que nós, humanos, chamamos de estrelas e elas se juntaram, formando o que chamamos de galáxias (do grego galaktos, leite). A ciência calcula que existam em nosso universo aproximadamente 200 bilhões de galáxias. Uma delas é a nossa, a Via Láctea, que é “leite”, em latim. Aliás, nem é uma galáxia tão grande; calcula-se que ela tenha cerca de 100 bilhões de estrelas. Portanto, estamos em uma galáxia, que é uma entre 200 bilhões de galáxias, num dos universos possíveis e que vai desaparecer.

Nessa nossa galáxia, repleta de estrelas, uma delas é o que agora chamam de estrela-anã, o Sol. Em volta dessa estrelinha giram algumas massas planetárias sem luz própria, nove ao todo, talvez oito (pela polêmica classificação em debate). A terceira delas, a partir do Sol, é a Terra. O que é a Terra?

A Terra é um planetinha que gira em torno de uma estrelinha, que é uma entre 100 bilhões de estrelas que compõem uma galáxia, que é uma entre outras 200 bilhões de galáxias num dos universos possíveis e que vai desaparecer. Veja como nós somos importantes...

Aliás, veja como nós temos razão de nos termos considerado na história o centro do universo. Tem gente que é tão humilde que acha que Deus fez tudo isso só para nós existirmos aqui. Isso é que é um Deus que entende da relação custo-benefício. Tem indivíduo que acha coisa pior, que Deus fez tudo isso só para esta pessoa existir. Com o dinheiro que carrega, com a cor da pele que tem, com a escola que frequentou, com o sotaque que usa, com a religião que pratica.

Nesse lugarzinho tem uma coisa chamada vida. A ciência calcula que em nosso planeta haja mais de trinta milhões de espécies de vida, mas até agora só classificou por volta de três milhões de espécies. Uma delas é a nossa: Homo sapiens. Que é uma entre três milhões de espécies já classificadas, que vive num planetinha que gira em torno de uma estrelinha, que é uma entre 100 bilhões de estrelas que compõem uma galáxia, que é uma entre outras 200 bilhões de galáxias num dos universos possíveis e que vai desaparecer.

Essa espécie tinha, em 2007, aproximadamente 6,4 bilhões de indivíduos. Um deles é você. **Você é um entre 6,4 bilhões de indivíduos, pertencente a uma única espécie, entre outras três milhões de espécies classificadas, que vive num planetinha, que gira em torno de uma estrelinha, que é uma entre 100 bilhões de estrelas que compõem uma galáxia, que é uma entre outras 200 bilhões de galáxias num dos universos possíveis e que vai desaparecer.**

É por isso que todas as vezes na vida que alguém me pergunta: “Você sabe com quem está falando?”, eu respondo: “Você tem tempo?”.

Sumário

Resumo	xiv
Abstract	xvi
1. Introdução	18
2. Objetivo	23
3. Publicação	24
3.1. Artigo Original: Cortical tibial osteoperiosteal flap technique to achieve bony bridge in transtibial amputation: experience in nine adult patients	24
4. Discussão	30
5. Conclusão	38
6. Referências Bibliográficas	39
7. Anexos	46
7.1. Anexo 1: Transtibial amputation using the Ertl bony bridge technique	46
7.2. Anexo 2: A case series featuring extremely short below-knee stumps	50

Resumo

Introdução: A amputação, especialmente dos membros inferiores, é um procedimento cirúrgico antigo que permite excelentes resultados quando realizada nas indicações apropriadas. Na década de 1940, Ertl desenvolveu uma técnica reproduzível para amputação transtibial com o princípio de osteomioplastia, que restaurou a pressão intra-óssea por meio da obliteração do canal medular e ampliou a área de apoio terminal, formando uma ponte óssea entre a fíbula e a tíbia distais (sinostose).

Objetivos: O objetivo deste estudo foi investigar a eficácia de uma modificação da técnica original Ertl, em que um retalho pediculado osteoperiosteal é usado para formar a ponte óssea na amputação transtibial em adultos.

Resultados: Todos os nove pacientes apresentaram cotos indolores e capazes de apoio terminal total em 24 semanas pós-operatório.

Conclusão: A construção de um retalho pediculado tibial osteoperiosteal cortical para alcançar uma ponte óssea durante a amputação transtibial é um procedimento seguro e eficaz que proporciona um coto estável e indolor que

permite apoio terminal. Trata-se de uma opção útil para pacientes jovens, atletas e pacientes com grande demanda física.

Palavras-chave: tibia, amputação, retalho cirúrgico.

Abstract

Background: Amputation, especially of the lower limbs, is an ancient surgical procedure that gives excellent results when conducted under the appropriate conditions. In the 1940s, Ertl developed a reproducible technique for transtibial osteomyoplastic amputation, which restored the intraosseous pressure through canal obliteration and expanded the area of terminal support by forming a bony bridge between the fibula and distal tibia.

Objectives: The aim of this study was to investigate the effectiveness of a modification of the original Ertl technique, whereby a cortical tibial osteoperiosteal flap technique is used to achieve a bony bridge during transtibial amputation in adults.

Results: All of the patients had stumps that were painless and able to bear the total terminal weight at 24th week post-surgery.

Conclusion: The construction of a cortical tibial osteoperiosteal flap to achieve a bony bridge during transtibial amputation is a safe and effective procedure that provides a strong and painless stump that is terminal weight-bearing. This

constitutes a useful option for young patients, athletes, and patients with high physical demands.

Keywords: Orthopaedic, Surgical technique, Tibia, Stump, Flap.

1. Introdução

Há diversas evidências demonstrando que as amputações estão entre os mais antigos procedimentos cirúrgicos. As primeiras, provavelmente, foram realizadas nos primórdios da humanidade, sendo conhecidas como “bleeding” (“sangramento” do inglês). O termo remete ao fato de que havia grande hemorragia no ato da amputação pelo não conhecimento da necessidade de ligadura dos vasos sanguíneos [29]. A mortalidade deste procedimento era alta, há relatos de uma morte para quatro amputações. Após uma rápida cirurgia (que durava entre 15 a 20 minutos), o coto era submergido em óleo fervente para hemostasia [35]. Todo procedimento era realizado sem anestesia, por ainda não existir. A anestesia tem seus primeiros gases desenvolvidos na década de 1840 [22].

Os primeiros relatos de ligadura dos vasos são referenciados a Hipócrates, tendo sido esquecidos durante a idade média e resgatados somente em 1529 por Ambroise Paré. A ligadura dos vasos diminuiu muito a mortalidade do procedimento, permitindo focar um pouco na qualidade do coto. Paré ainda desenhou modelos de próteses que trouxeram alguma qualidade de vida aos sobreviventes. Em 1674, Morel introduziu o uso do torniquete cirúrgico [18] e Lister, em 1867, os princípios de assepsia modernos, melhorando ainda mais a sobrevivência dos amputados e qualidade dos cotos [16].

Muitas vezes era utilizada como técnica de salvamento da vida, sendo realizada muito comumente em períodos de guerra, principalmente após o início do uso militar da pólvora [18]. As diversas técnicas de realização de cotos de amputação tiveram seu maior desenvolvimento no período de guerras [24]. Na guerra civil americana há o registro de aproximadamente 50.000 amputações realizadas. Correspondendo a 75% de todos os procedimentos cirúrgicos militares da época [2].

Com o desenvolvimento de técnicas modernas de reconstrução e salvamento de membros, o número de amputações traumáticas diminuiu em aproximadamente 50% nos últimos vinte anos [8]. Em compensação o número de amputados por diabetes e doenças vasculares vem aumentando [Peek 2011]. Entretanto, com o aumento da população nos grandes centros, associado ao aumento da frota de veículos automotores, o número de acidentes de alta energia ainda tem perfil epidemiológico, não sendo incomum a atuação do ortopedista na realização de uma amputação de urgência no plantão [15].

O objetivo inicial da abordagem de um paciente politraumatizado atualmente não se inicia pela amputação irrestrita como nos primórdios da medicina. Hoje as indicações de amputação estão mais claras e precisas, com diversos modelos de protocolos para salvamento ou indicação para amputação de membros (exemplo: mangled extremity severity score – M.E.S.S. [36].

Contudo, talvez por motivos psicoemocionais, ou mesmo pela ideia da banalização do procedimento de amputação, muitas vezes este procedimento é delegado ao cirurgião menos experiente, pois não há interesse por parte da

equipe sênior em realizar “somente uma amputação”. Esquecendo-se que este paciente, após o procedimento, necessitará de cuidados especiais que serão maiores caso ele não seja capaz de deambular com independência. O custo social total destes pacientes é elevado, principalmente quando não há readaptação laborativa e familiar [9].

Os membros superiores têm uma função delicada e de alta precisão que a protetização ainda não conseguiu substituir plenamente. Portanto, sua preservação é sempre a primeira opção [38]. Os membros inferiores têm por função primordial permitir a deambulação com um gasto energético mínimo na marcha, o que, com os recursos modernos na qualidade da protetização de membros inferiores, é suprido quase que em sua totalidade [12]. Tornando o pensamento de que salvar um membro do ponto de vista biológico nem sempre significa salvar o membro do ponto de vista funcional. Sendo assim, as indicações de salvamento ou amputação de um membro têm que ser racionais, tendo o cirurgião que entender não somente a lesão biológica mas a potencial funcionalidade, com visão no longo prazo, permitindo assim alcançar um resultado mais adequado a cada paciente [28].

O amputado, que no passado era discriminado e isolado socialmente, hoje, graças às mais modernas técnicas cirúrgicas de amputação e protetização, apresenta integração social melhorada, participando ativamente da nossa sociedade, produzindo e praticando esportes, inclusive de altos nível e demanda mecânica [17].

A protetização funcional é uma realidade, graças aos avanços tanto na área mecânica da prótese quanto na qualidade técnica do coto de amputação, com procedimentos cirúrgicos que permitem, após adequada reabilitação, carga terminal com consequente independência e conforto ao paciente [12].

Mesmo com a possibilidade de protetização adequada, muitos pacientes apresentam dificuldade de adaptação a prótese por diversos motivos. Dentre os mais comuns, estão logicamente as condições intrínsecas do paciente, que muitas vezes apresenta sequelas de lesões associadas como traumatismo cranioencefálico (TCE), múltiplas lesões no aparelho locomotor, idade avançada, obesidade mórbida entre outras.

Entretanto, muitas vezes, o paciente apresenta no coto um quadro algíco precoce ou tardio. Este, por sua vez, pode estar relacionado a formação de neuromas ou, principalmente nos casos de dor mecânica à carga terminal, relacionado a qualidade técnico-funcional do coto [10].

Com a observação de que com um coto de qualidade o amputado, devidamente protetizado, pode exercer praticamente todas as atividades prévias à perda, houve a busca por técnicas cirúrgicas que apresentassem um coto mais funcional [12].

A técnica clássica de Burgess está entre as mais utilizadas para amputações transtibiais [38]. Esta trouxe grande avanço com o conceito do retalho muscular posterior, o que permite um coto menos cônico que o boca de peixe (do inglês: fish mounth) simples. Isso permitiu um ajuste mais adequado do soquete da prótese e trouxe uma durabilidade maior ao coto. As desvantagens desta

técnica incluem principalmente a dificuldade de apoio terminal e afunilamento do coto com consequente diminuição da área de apoio, causando dor e possível presença de lesões/úlceras de pressão.

Para resolver este problema Ertl [7, 26] desenvolveu um retalho periosteal entre a fíbula e a tíbia que permitiu uma melhora na funcionalidade do coto, com apoio terminal e não afunilamento tardio. Entretanto, observou-se que em 11% dos casos a sinostose da ponte óssea não se formava [38] levando, então, às mesmas desvantagens da técnica de Burgess. Em nossos estudos também observamos que, com o aumento da nossa casuística, apareceram alguns casos de não formação da ponte óssea pois, provavelmente, o perióstio não ossificou. (Anexo 1)

Isto nos levou a pensar na possibilidade de um retalho pediculado ósseo que, teoricamente, aumentaria as chances de sinostose.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é o de relatar a experiência preliminar em nove pacientes com um novo retalho osteoperiosteal pediculado para obtenção de ponte óssea.

3. Publicação

3.1. Artigo Original: Cortical tibial osteoperiosteal flap technique to achieve boné bridge in transtibial amputation: experience in nine adult patients

Strat Traum Limb Recon (2013) 8:37–42
DOI 10.1007/s11751-013-0152-0

ORIGINAL ARTICLE

Cortical tibial osteoperiosteal flap technique to achieve bony bridge in transtibial amputation: experience in nine adult patients

Mauricio Leal Mongon · Felipe Alberto Piva ·
Sylvio Mistro Neto · Jose Andre Carvalho ·
William Dias Belangero · Bruno Livani

Received: 26 July 2012 / Accepted: 7 January 2013 / Published online: 31 January 2013
© The Author(s) 2013. This article is published with open access at Springerlink.com

Abstract Amputation, especially of the lower limbs, is a surgical procedure that gives excellent results when conducted under the appropriate conditions. In 1949 Ertl developed a technique for transtibial osteomyoplastic amputation which restored the intraosseous pressure through canal obliteration and expanded the area of terminal support through a bony bridge between the fibula and distal tibia. The aim of this study was to investigate the effectiveness of a modification of the original Ertl's technique in which a cortical osteoperiosteal flap created from the tibia is used to form a bony bridge during transtibial amputation in adults. Nine patients underwent leg amputations with the cortical tibial osteoperiosteal flap technique for reconstruction of the stump. The average duration of follow-up was 30.8 (range, 18–41) months. The post-surgery examination included a clinical examination and radiography. A 6-min walk test (Enright in Respir Care 48(8):783–785, 2003) was performed in the 32nd week after amputation. At 24th week post-surgery, all patients had stumps that were painless and able to bear full weight through the end. The creation of a cortical osteoperiosteal flap from the tibia to the fibula during transtibial amputation is a safe and effective technique that provides a strong

and painless terminal weight-bearing stump. This constitutes a useful option for young patients, athletes, and patients with high physical demands.

Keywords Amputation · Surgical technique · Tibia · Fibula · Flap

Background

Amputation, especially of the lower limbs, can give excellent results when used for correct indications [1]. Despite modern reconstruction techniques and replantation, the preservation of a severely traumatised lower limb or a limb that is affected by painful chronic osteomyelitis usually yields poorer functional results than amputation and prosthetic use [2]. Transtibial amputations result in excellent functional outcomes [3]. In 1949 Ertl developed a technique for transtibial osteomyoplastic amputation which restored the intraosseous pressure through canal obliteration and expanded the area of terminal support by creating a bony bridge between the fibula and distal tibia [4]. The original technique involved the preparation of a periosteum cylinder that was extracted from the tibia with attached bone fragments, which promoted tibiofibular synostosis at the distal extremity of the amputation stump. A major problem with this technique was that it is not always possible to achieve bony bridge formation [5]. Subsequently, variations of the bony bridge have been described [6, 7].

The aim of the present study was to describe a cortical tibial osteoperiosteal flap technique that generates a bony bridge during transtibial amputation of adults. In essence, this is a modification of the original technique described by Ertl.

M. L. Mongon (✉)
Orthopedics and Traumatology Department, Hospital Estadual de Sumaré, UNICAMP, Rua Jose Augusto Silva 761 apto 31B, Campinas, Sao Paulo zip 13087-570, Brazil
e-mail: mauriciomongon@gmail.com

F. A. Piva · S. Mistro Neto · W. D. Belangero · B. Livani
Orthopedics and Traumatology Department, State University of Campinas (UNICAMP), Campinas, Sao Paulo, Brazil

J. A. Carvalho
Physiotherapy Department, Instituto de Prótese e Órtese (IPO), Campinas, Sao Paulo, Brazil

 Springer

Patients and method

Patients

Between December 2008 and November 2010, nine patients underwent leg amputations with the cortical tibial osteoperiosteal flap technique for reconstruction of the stump. The pre-operative characteristics of the patients are listed in Table 1. The study sample was adult patients who had traumatic and osteomyelitic reasons for amputation. Those under the age of 18 years or with an insufficient tibia length to allow creation of the osteoperiosteal flap (i.e. the same contraindication as that for the original Ertl's technique) were excluded [8]. None of the selected patients had a systemic comorbidity (e.g. hypertension, diabetes, chronic vascular insufficiency), but three patients were smokers.

There were eight men and one woman (mean age, 30.5 years; range, 18–51 years). Six patients underwent amputation on the right side and three on the left side. All the amputations were unilateral. Seven patients presented with Gustilo & Anderson IIIC open fractures [9, 10], and two patients had chronic painful osteomyelitis of the ankle and hind foot.

The average duration of follow-up was 30.8 (range, 18–41) months. The post-surgery examination included a clinical examination and radiography. A 6-min walk test [11] was performed in the 32nd week after amputation.

This study was carried out with the approval of an Ethics Committee. All patients provided informed written consent in accordance with the World Medical Association Declaration of Helsinki.

Operative technique

A transtibial amputation using the cortical tibial osteoperiosteal flap technique to create a bony bridge must be performed as distally as possible; the desired level is the osseous equivalent of the muscle–tendon transition of the gastrocnemius muscle (as in the original Ertl's technique).

All patients received antibiotic prophylaxis (cephalosporin 2 g, administered intravenously within 30 min of the start of the procedure). The surgical procedure begins with two 8-cm longitudinal incisions, one anterolateral and the other posteromedial, starting 2.5 cm above the level proposed for the tibial osteotomy. Distally, these incisions are connected by a circular incision. The two flaps so formed are elevated, keeping the deep fascia and muscular aponeurosis intact. A vertical incision is then made in the deep fascia, just lateral to the tibial crest. At this point, extreme care must be taken to avoid damage to the periosteum. Another vertical incision is made through the deep fascia, in alignment with the fibula. All of the anterior and lateral compartment muscles are removed. Up to this point, both the bones and the interosseous membrane are intact.

The fibula is sectioned at the final level planned for the tibia while preserving the interosseous membrane. The tibia is sectioned about 8 cm below the fibula, and the amputated distal extremity is removed (Fig. 1a).

The main neurovascular bundle is isolated, and the artery and veins clamped separately; the nerves are sectioned after mild traction to ensure that they will retract proximally as in the original technique of Ertl.

At the level of the definitive tibial division, a longitudinal osteotomy of the fibular half of the tibia is made and the fibula half removed; the medial half of the tibia remains intact with attached periosteum (Fig. 1b, c). The medial half of the distal tibia is divided into segments while preserving the periosteal layer such that a periosteum-supported strut graft made of these segments is created (Fig. 2a) to allow the osteoperiosteal flap to be flipped to cover both bones. This will eventually connect the tibia to the fibula (future bridge) distally (Fig. 2b). A 3.5-mm screw fixes the distal part of the pedicled osteoperiosteal flap to the distal fibula (Fig. 3a).

When the osteoperiosteal flap is complete, a cushion must be prepared from the two muscle flaps, the aponeurosis, and the remaining intact deep fascia. These must be sculpted properly so as to allow them to be sutured together under

Table 1 Pre-operative patients data

Patient number	Age at amputation (years)	Gender	Aetiology	Side	Smoker
1	19	Male	Trauma Gustilo IIIC	Right	No
2	46	Male	Chronic Osteomyelitis	Left	Yes
3	27	Male	Trauma Gustilo IIIC	Right	No
4	29	Male	Trauma Gustilo IIIC	Right	No
5	35	Male	Trauma Gustilo IIIC	Right	Yes
6	19	Female	Trauma Gustilo IIIC	Right	No
7	31	Male	Trauma Gustilo IIIC	Right	No
8	18	Male	Trauma Gustilo IIIC	Left	No
9	51	Male	Chronic Osteomyelitis	Left	Yes

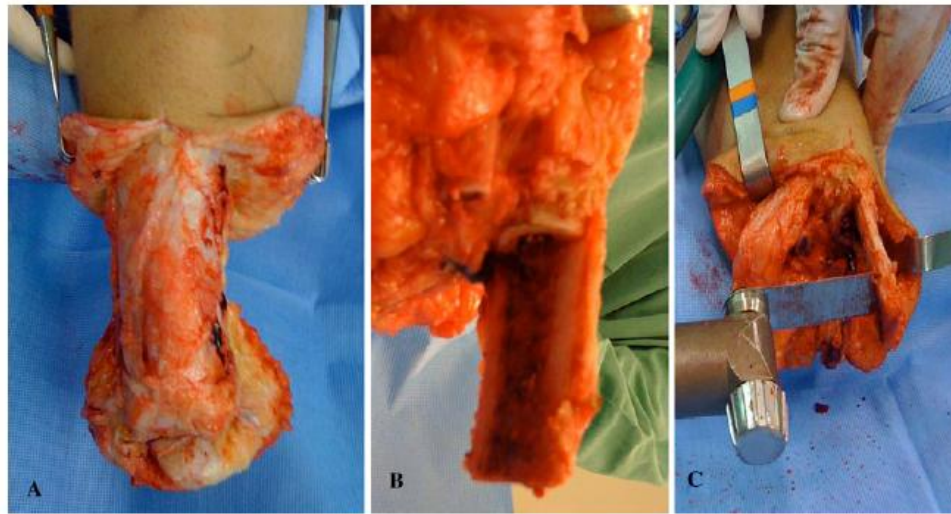


Fig. 1 a The amputated distal extremity is removed; b, c an longitudinal osteotomy of the fibular half of the tibia is made

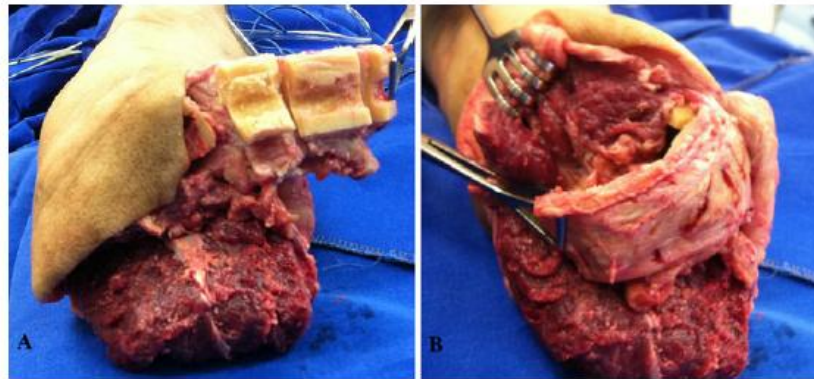


Fig. 2 a Tibial segmental osteotomy is performed; b osteoperiosteal flap is flipped covering both bones

mild tension. As described for the original Ertl's technique, the deep posterior compartment musculature should be resected at the same level as the tibial osteotomy, leaving only the gastrocnemius muscle as a posterior muscular flap. For the tibia, the prominence formed by its crest must be sculpted with round corners without osseous prominences.

The deep musculature enlarges the stump distal volume while the soleus muscle has intramural veins which may contribute to local haematoma formation. At this point, drains should be inserted in the bone and muscular plane. Both long flaps of skin are then cut and sutured under mild tension (Fig. 3b).

The skin suture line is positioned almost perpendicular to the muscle suture line; this helps prevent the formation of undesirable adherent scars among the planes. The

surgical dressing used is the same as that recommended for a conventional amputation, that is, an elastic compression dressing that consists of orthopaedic cotton and an elastic bandage. Early knee motion is encouraged.

Results

The intraoperative procedure had no complications. There were no wound infections, and the incisions healed without complications. The stitches were removed at 3 or 4 weeks post-operatively.

A below-knee prosthesis was adapted to each patient at 7 (range, 6–8) weeks post-operatively. There was no need for stump revision during the entire follow-up period.

Fig. 3 a X-ray showing a 3.5-mm screw fixing the distal pedicled strut graft osteoperiosteal flap to the distal fibula; b final stump



Fig. 4 a Patient number 3 with prosthesis; b final bony bridge



The patients were clinically and radiographically evaluated every 2 weeks. The patients' stumps were painless and capable of end-bearing weight at an average of 16 weeks post-surgery (range 15–17). Radiographically, all nine patients formed complete bony bridges at an average period of 16 weeks (range, 12–20). The 6-min walk test [11] produced an average result of 312 m (range, 280–340). Each patient was fitted with a prosthesis and subsequently

reported a satisfactory quality of life (Fig. 4a, b). Table 2 lists the post-operative information for all the patients.

Discussion

In general, the quality of life of a lower-limb amputee with a functional stump is similar to that of an average person

Table 2 Post-operative patients data

Patient number	Follow-up (months)	Bridge formed (weeks)	Time to prosthesis (weeks)	Terminal weight bearing
1	41	14	7	Yes
2	41	12	7	Yes
3	35	18	8	Yes
4	35	16	7	Yes
5	31	18	8	Yes
6	27	16	6	Yes
7	26	16	7	Yes
8	24	18	6	Yes
9	18	16	8	Yes

[12]. The sooner the patient returns to a daily routine, the greater is the chance of socio-economic re-adaptation [13]. Therefore, a technically well-constructed stump must be the primary objective of the orthopaedic surgeon.

In 1949, Ertl described an amputation technique that employed a bony bridge which, at least, in theory addressed all of the drawbacks of a conventional transtibial amputation [4]. This procedure closes the medullary canal with cortical bone, thereby restoring the intraosseous pressure, blood flow, and vascularisation [14]. The resulting bony bridge increases the terminal area of the stump, makes it more stable, and avoids posteromedial migration of the fibula and consequent funnelling. A larger stump

base distributes the weight over a wider area, thereby reducing the pressure [4].

The cortical osteoperiosteal flap, which is a modification of the Ertl's bony bridge technique, has the advantage of a vascularised flap made of large strut grafts. A larger support area allows for wider distribution of the pressure which reduces the likelihood of pain and increases the weight-bearing ability of the terminal stump. This is particularly important for meeting the greater functional demands of certain patients such as young people, athletes, military personnel, and professionals who exert high levels of physical effort [15].

A drawback of all bony bridge techniques is that the initial level of the lesion cannot lie very proximal to the tibia, as this would prevent the construction of an osteoperiosteal flap of appropriate length. This means that the derivation of a bony bridge is impossible in oncological cases that require a wide surgical margin, as well as in many cases of trauma. In the cases presented here, the amputations were performed on patients who had experienced trauma to the lower limbs requiring early amputation or on patients who required amputation following the development of painful chronic osteomyelitis.

Primary wound closure performed within the zone of injury is a significant predictor of subsequent wound problems, regardless of the amputation technique used [16]. In this series of patients, all the amputations were for trauma and chronic infection and, for safety reasons and to reduce the risk of secondary wound complications

Fig. 5 a Patient number 1 with terminal full weight bearing; b right stump terminal full weight bearing; c Total weight of the patient



(e.g. dehiscence and stump infection), were left open with sterile dressings for 48 h using negative-pressure wound therapy; thereafter, a second examination was performed, at which point the osteoperiosteal flap was constructed and the wound closed [16].

The intraoperative procedure had no problems or complications. In all patients the wounds healed without complications. A below-knee prosthesis was adapted to all patients, and there was no need for stump revision during the entire follow-up period. All bony bridges were ossified at an average of 16 weeks, similar to the Ertl's original technique [4]. At the 6-month post-operative follow-up, all patients were able to bear full weight terminally (Fig. 5a–c).

The 6-min walk test is an inexpensive, safe, and easy-to-apply test that can imply level of function with activities of the daily living. It is a way to assess the patient's functional capacity, monitor effectiveness of a treatment, and establish prognosis, as well as having good correlation with the maximum oxygen consumption [11]. The average result for patients with this technique was 312 m.

Conclusion

The construction of a cortical tibial osteoperiosteal flap to achieve a bony bridge during transtibial amputation, which represents a modification of the original technique described by Ertl, is a safe and effective procedure that creates a strong, painless, terminal weight-bearing stump. This procedure could be a useful option for young patients, athletes, and patients with high physical demands.

Acknowledgments Authors would like to acknowledge Prof. Lourenco Sbragia Neto, FMRPUSP, Ribeirao Preto, SP, Brazil, and received funding from Sao Paulo State Research Foundation (FAPESP), Sao Paulo, Brazil (2009/02089-3).

Conflict of interest The authors report no conflict of interest.

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License which permits any use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and the source are credited.

References

1. Livani B, de Castro GF, Filho JR, Belangero WD, Ramos TM, Mongon M (2011) Pedicled sensate composite calcaneal flap to achieve full weight-bearing surface in midshaft leg amputations: case report. *J Reconstr Microsurg* 27(1):63–66
2. Tekin L, Safaz Y, Göktepe AS, Yazıcıoğlu K (2009) Comparison of quality of life and functionality in patients with traumatic unilateral below knee amputation and salvage surgery. *Prosthet Orthot Int* 33(1):17–24
3. Ebrahimzadeh MH, Hariri S (2009) Long-term outcomes of unilateral transtibial amputations. *Mil Med* 174(6):593–597
4. Mongon ML, Davitt M, Carvalho JA, Belangero WD, Livani B (2010) Transtibial amputation using the Ertl bony bridge technique. *Eur Orthop Traumatol* 1:21–24
5. Okamoto AM, Guarniero R, Coelho RF, Coelho FF, Pedrinelli A (2000) The use of bone bridges in transtibial amputations. *Rev Hosp Clin Fac Med Sao Paulo* 55(4):121–128
6. Pinto MA, Harris WW (2004) Fibular segment bone bridging in trans-tibial amputation. *Prosthet Orthot Int* 28(3):220–224
7. Ng VY, Berlet GC (2011) Improving function in transtibial amputation: the distal tibiofibular bone-bridge with Arthrex Tightrope fixation. *Am J Orthop* 40(4):E57–E60
8. Ertl J (1949) Über amputationsstumpfe. *Chirurg* 20:218–224
9. Gustilo RB, Anderson JT (1976) Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Jt Surg Am* 58(4):453–458
10. Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN (1984) Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma* 24(8):742–746
11. Enright PL (2003) The six-minute walk test. *Respir Care* 48(8):783–785
12. Pinzur MS, Pinto MA, Saltzman M, Batista F, Gottschalk F, Juknelis D (2006) Health-related quality of life in patients with transtibial amputation and reconstruction with bone bridging of the distal tibia and fibula. *Foot Ankle Int* 27:907–912
13. Harness N, Pinzur MS (2001) Health related quality of life in patients with dysvascular transtibial amputation. *Clin Orthop Relat Res* 383:204–207
14. Pinzur MS, Beck J, Himes R, Callaci J (2008) Distal tibiofibular bone-bridging in transtibial amputation. *J Bone Jt Surg Am* 90(12):2682–2687
15. Legro MW, Reiber GD, Smith DG, del Aguila M, Larsen J, Boone D (1998) Prosthesis evaluation questionnaire for persons with lower limb amputations: assessing prosthesis-related quality of life. *Arch Phys Med Rehabil* 79:931–938
16. Gwinn DE, Keeling J, Froehner JW, McGuigan FX, Andersen R (2008) Perioperative differences between bone bridging and non-bone bridging transtibial amputations for wartime lower extremity trauma. *Foot Ankle Int* 29(8):787–793

4. Discussão

O paciente politraumatizado que apresenta uma lesão com potencial indicação de amputação geralmente é jovem, do sexo masculino e em idade produtiva [37]. Consequentemente, estas graves lesões afetam-no social, emocional e economicamente na fase mais ativa de sua vida. A decisão de se amputar um membro deve ser criteriosa e técnica. Sempre que possível, paciente e familiares devem entender o raciocínio da decisão a ser tomada [13].

Ao se tentar o salvamento de um membro gravemente traumatizado, devem-se sempre considerar as repercussões biológicas pós-traumáticas para o indivíduo (resposta inflamatória sistêmica grave - SIRS). Muitas vezes, a decisão de amputar pode evitar o óbito [1]. Nos casos de neoplasias do esqueleto apendicular, mesmo com as mais modernas técnicas de salvamento e reconstrução, nem sempre é possível a preservação do membro [28]. A osteomielite crônica pode evoluir para amputação em situações nas quais há um risco sistêmico ao paciente ou não há outra opção cirúrgica reconstrutiva. Com o envelhecimento da população mundial, há um aumento na prevalência de doenças degenerativas, dentre elas as que cursam com insuficiência vascular periférica. A diabetes é a mais comum destas e diversos estudos demonstram que está entre as principais causas de amputação de membros inferiores [27].

As técnicas de reconstrução de membros, principalmente com o advento da microcirurgia, abriram um horizonte de oportunidades que permite o salvamento de casos que, sem estes recursos, seriam amputados [40]. Porém, na mesma proporção em que as técnicas de reconstrução de membros se desenvolveram, as técnicas de amputação e de protetização também o fizeram, permitindo hoje ao amputado uma condição social semelhante à que experimentava antes da amputação [6].

Esta visão funcional do membro permite uma escolha adequada de qual caminho seguir. O paciente deve entender que, em alguns casos, a tentativa de salvar o membro envolverá diversos procedimentos cirúrgicos e grande readaptação (muitas vezes por anos). Podendo, ainda assim, apresentar dor crônica associada e disfunção do membro dito preservado [23].

Na amputação transtibial clássica (técnica descrita por Burgess), a fíbula é osteotomizada cerca de 1 cm mais curta do que a tíbia, evitando a concentração excessiva da pressão neste local durante a marcha após a protetização [41]. As complicações com esta técnica não são incomuns, podendo evoluir para a necessidade de revisão do coto, aumentando a morbimortalidade [19].

Em Física, o momento é uma grandeza que representa a magnitude da força aplicada a um sistema rotacional a uma determinada distância de um eixo de rotação. O conceito do braço de momento, esta distância característica, é a chave para a operação da alavanca, roldana, engrenagens e muitas outras máquinas simples capazes de gerar ganho mecânico. Baseadas neste princípio físico, várias

análises de marcha afirmam que há uma regra mecânica de tamanho do membro e sua funcionalidade: quanto maior o segmento, menor a força desprendida para o movimento (ou seja, $M = r \times f$, sendo M o momento, r a distância e f a força aplicada). Partindo do conceito de que marcha ideal é a que apresenta menor consumo de energia com o máximo desempenho, para o coto residual há uma proporção mínima ideal de tamanho. Esta consiste em preservar, abaixo da linha articular do joelho, 2,5cm para cada 30cm de altura total da pessoa, ou na transição miotendínea do gastrocnêmio [25].

A literatura clássica orienta um coto mínimo de 8cm abaixo da superfície articular para que a funcionalidade seja adequada. Porém, mesmo um coto curto é preferível à perda da articulação do joelho [4 – Anexo 2)]. São vários os argumentos que permitem essa afirmação, desde sociais (o custo de uma prótese com joelho mecânico é muito superior ao da transtibial) até a questão mecânica da cadência da marcha [5]. Por melhor que seja a prótese, o gasto energético é sempre maior na desarticulação quando comparado à amputação diafisária mais distal [11].

O coto com dois segmentos ósseos isolados (tíbia e fíbula) evolui para a perda de sua forma, tendo como consequência formato cônico devido a perda da sindesmose. Baseado no princípio de que a área da superfície determina sua unidade de pressão, quanto menor a área, maior a pressão em cada ponto da superfície de carga. O que pode causar, em cotos afunilados, ferimentos por pressão, infecção local e consequente dor. A tíbia amputada perde pressão

intraóssea, levando a má perfusão local e podendo também ser causa de dor crônica [33].

A forma inicial do coto de amputação pode afunilar, causando dor e dificuldade para adaptação à prótese. O estreitamento distal do coto é causado por migração posteromedial da fíbula, que (com sustentação de peso) tende a medializar, uma vez que carece de contenção distal (ou seja, a sindesmose foi perdida) [32].

Sendo pressão igual a força dividida pela área (isto é, $P = F/A$), uma menor área de superfície no coto apresenta maior pressão, tornando assim o coto mais propenso a desenvolver úlceras, infecção tardia e dor. Por outro lado, uma maior área de apoio permite maior distribuição da pressão, o que reduz a probabilidade de dor e aumenta a capacidade de apoio terminal. Isto é particularmente importante para atender a maiores exigências funcionais em pacientes jovens, atletas, militares e profissionais que exercem mais esforço físico [26].

A mudança na pressão intraóssea leva a consequente redução na perfusão da tíbia distal (por estar com o canal medular aberto), podendo causar dor local [32]. Além disso, atraso ou ausência de apoio mecânico no coto pode levar a desmineralização óssea progressiva (desuso), que geralmente é dolorosa; a dor reduz ainda mais a utilização deste, gerando um ciclo vicioso, que incapacita o paciente. O não retorno às atividades cotidianas resulta em dificuldades biopsicossociais. Quanto mais cedo o paciente retorna para sua rotina diária, maiores são as chances de readaptação [14].

Em 1949, Ertl descreveu a técnica de amputação com ponte óssea que, em teoria, trataria todos os inconvenientes da amputação transtibial convencional mencionados acima. Essa técnica foi difundida em nosso meio por Pinto [32]. Este procedimento fecha o canal medular com osso cortical, restaurando a pressão intra-óssea e o fluxo sanguíneo [33]. A ponte óssea entre tibia e fibula distal resulta em aumento da área de apoio terminal do coto, tornando-o mais estável e evitando a migração pósteromedial da fíbula. A base maior distribui o peso sobre uma área mais ampla, reduzindo a pressão [34].

Um inconveniente desta técnica é o nível da lesão não poder ser muito proximal na tibia, porque isso impediria a construção de um tubo periosteal de comprimento adequado. Nos casos em que não há periosteio suficiente para confecção da ponte óssea, uma técnica elegante a ser realizada é o emprego da fíbula que é osteotomizada de forma a ser utilizada como enxerto para ponte óssea [34].

A ponte óssea pode ser inviável em casos oncológicos que exijam ampla margem cirúrgica e em muitos casos de trauma que atinjam a tibia proximal. Nos casos apresentados, as amputações foram realizadas em pacientes que apresentaram trauma nos membros inferiores que exigiam amputação imediata ou nos casos de osteomielite crônica refratária aos tratamentos de preservação do membro.

Nas amputações subsequentes às relatadas no primeiro artigo [26-Anexo 1], notou-se que, em alguns casos, mesmo tendo sido realizada a técnica precisa, não houve a ossificação do tubo osteoperiosteal e formação da ponte

óssea. Tintle et al. relataram a não formação de ponte óssea em 11% dos casos operados pela técnica de Ertl [39].

Estudos anatômicos descrevem que a irrigação cortical óssea até os 35 anos se faz pela medular, mas que após esta idade o suprimento ósseo é progressivamente suprido pelo periósteo, até que acima dos 70 anos é predominantemente periosteal [3].

Com isso idealizamos e desenvolvemos um retalho vascularizado osteoperiosteal semelhante ao proposto por Ertl [34], porém com a utilização de osso cortical estruturado vascularizado e não apenas periósteo.

Esta técnica, em tese, permitiria uma maior e mais sólida base mecânica, pois os fragmentos ósseos comportam-se como um foco de fratura cominuto a ser consolidado, não havendo necessidade de esperar que o periósteo isolado seja formador da ponte óssea. Como estes fragmentos ósseos estão aderidos ao periósteo, não são enxertos e sim um retalho vivo, irrigado com grande potencial de formação da ponte entre a tíbia e a fíbula.

Pinto et al., ao perceberem que alguns casos não formavam a ponte óssea quando realizada a técnica originalmente descrita por Ertl, então também descreveram uma variante, com a utilização da fíbula como enxerto para ponte, e também obtiveram excelentes resultados [31]. Entretanto, nem sempre há comprimento suficiente de fíbula a ser preservado, não permitindo a aplicação desta técnica em diversos casos em que a tíbia é mais longa.

Com a ponte osteoperiosteal cortical formada pela tíbia, obtivemos bons resultados. As técnicas mioplásticas são as mesmas descritas por Ertl em 1949, pois a diferença se faz no retalho pediculado osteoperiosteal.

Apenas um artigo questiona a superioridade da ponte óssea quando comparada às técnicas convencionais. Este relata, em uma série de casos, que não houve diferença entre a técnica da ponte óssea e a amputação tradicional (Burgess). Este ainda descreve que não é possível afirmar que as técnicas de ponte óssea sejam superiores às tradicionais, precisando de mais estudos para esta afirmação. Seus pacientes com ponte óssea não apresentaram resultado funcional, após protetização, superior ao grupo controle com amputação convencional [32].

Vivemos em um país com graves problemas sociais, onde o acesso a recursos básicos de saúde, principalmente na população de baixa renda, é deficiente. Talvez para os pacientes que têm acesso a uma protetização personalizada, com adaptação de coto e encaixe da prótese evitando o apoio terminal, realmente não faça tanta diferença funcional qual técnica empregada na reconstrução do coto. Pois sabe-se que o coto tecnicamente bem-feito é apenas um, dentre diversos fatores que permitem uma boa qualidade de marcha em um amputado [20-21 – Anexos 3 e 4]. Alguns países com melhor desenvolvimento econômico permitem acesso a próteses de última geração a custos mais baixos; o que não é uma realidade a grande parcela da população brasileira.

Dada a nossa situação socioeconômica, um coto que permita apoio terminal indolor, pela estruturação osteo-mioplástica, pode fazer a diferença entre

uma pessoa ter a chance de deambular sem tutores com alguma atividade produtiva e sem isolamento social. A qualidade das próteses de acesso público é muita vezes primitiva, quando comparada à das melhores existentes. Portanto, os autores que questionam a importância de uma ponte óssea, do ponto de vista funcional, aos pacientes amputados, podem pertencer a uma realidade diferente da dos pacientes de países em desenvolvimento.

5. Conclusão

A construção de um retalho osteoperiosteal pediculado tibial para obter uma ponte óssea na amputação transtibial, que representa uma modificação da técnica original descrita por Ertl, é um procedimento seguro e eficaz, que cria um coto indolor, resistente que permite um apoio terminal eficaz. Este procedimento pode ser uma opção útil para pacientes jovens, atletas, e pacientes com alta demanda física.

6. Referências Bibliográficas

- 1). Akula M, Gella S, Shaw CJ, McShane P, Mohsen AM. A meta-analysis of amputation versus limb salvage in mangled lower limb injuries-The patient perspective. *Injury*. 2011;Nov;42(11):1194-7. Epub 2010 Jul 2.
- 2). Blaisdell FW. Civil War vascular injuries. *World J Surg*. 2005;29 Suppl 1:S21-4.
- 3). Bridgeman G, Brookes M. Blood supply to the human femoral diaphysis in youth and senescence. *J Anat*. 1996; Jun;188 (Pt 3):611-21.
- 4). Carvalho JA, Mongon MD, Belangero WD, Livani B A case series featuring extremely short below-knee stumps. *Prosthet Orthot Int*. 2012;Jun;36(2):236-8.
- 5). Cutson TM¹, Bongiorno DR. Rehabilitation of the older lower limb amputee: a brief review.*J Am Geriatr Soc*. 1996;Nov;44(11):1388-93.
- 6). Deans SA, McFadyen AK, Rowe PJ. Physical activity and quality of life: A study of a lower-limb amputee population. *Prosthet Orthot Int*. 2008;Jun;32(2):186-200.

- 7). Deffer PA, Moll JH, Lanoue AM. The Ertl osteoplastic below-knee amputation. *J Bone Joint Surg Am* 1971;53:1028.
- 8). Dillingham TR, Pezzin LE, Shore AD. Reamputation, mortality, and health care costs among persons with dysvascular lower-limb amputations. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;Mar;86(3):480-6.
- 9). Driver VR, Fabbi M, Lavery LA, Gibbons G. The costs of diabetic foot: the economic case for the limb salvage team. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2010;Sep-Oct;100(5):335-41.
- 10). Gallagher P, O'Donovan MA, Doyle A, Desmond D. Environmental barriers, activity limitations and participation restrictions experienced by people with major limb amputation. *Prosthet Orthot Int*. 2011;Sep;35(3):278-84.
- 11). Genin JJ, Bastien GJ, Franck B, Detrembleur C, Willems PA. Effect of speed on the energy cost of walking in unilateral traumatic lower limb amputees. *Eur J Appl Physiol*. 2008;Aug;103(6):655-63.
- 12). Green GV, Short K, Easley M. Transtibial amputation. Prosthetic use and functional outcome. *Foot Ankle Clin*. 2001;Jun;6(2):315-27.
- 13). Hallock GG Evidence-based medicine: lower extremity acute trauma. *Plast Reconstr Surg*. 2013;Dec;132(6):1733-41.

- 14). Holzer LA, Sevela F, Fraberger G, Bluder O, Kicking W, Holzer G. Body image and self-esteem in lower-limb amputees. PLoS One. 2014;Mar 24;9(3):e92943.
- 15). Jacobs C, Siozos P, Raible C, Wendl K, Frank C, Grützner PA, Wölfl C. Amputation of a lower extremity after severe trauma. Oper Orthop Traumatol. 2011;Oct;23(4):306-17.
- 16). Jones PF. Pioneers of the transition from antiseptic to aseptic surgery. J Med Biogr. 1995;Nov;3(4):201-6.
- 17). Kelly M, Dowling M. Patient rehabilitation following lower limb amputation. Nurs Stand. 2008;Aug 13-19;22(49):35-40.
- 18). Kragh JF Jr, Swan KG, Smith DC, Mabry RL, Blackbourne LH. Historical review of emergency tourniquet use to stop bleeding. Am J Surg. 2012;Feb;203(2):242-52.
- 19). Lewandowski LR¹, Tintle SM, D'Alleyrand JC, Potter BK. The utilization of a suture bridge construct for tibiofibular instability during transtibial amputation without distal bridge synostosis creation. J Orthop Trauma. 2013;Oct;27(10):e239-42.
- 20). Livani B, Castro G, Filho JR, Morgatho TR, Ramos TM, Belangero WD, Mongon ML. Pedicled Sensate Composite Calcaneal Flap to Achieve Full

Weight-Bearing Surface in Midshaft Leg Amputations: Case Report. *Journal of reconstructive microsurgery* 2011;27 (1) 63-6.

- 21). Livani B, Castro G, Filho JR, Morgatho TR, Mongon ML, Belangero WD, Davitt M, Carvalho JA. Sensate composite calcaneal flap in leg amputation: a full terminal weight-bearing surface-experience in eight adult patients. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2011;Aug;6(2):91-6.
- 22). Loukas M, Bilinsky E, Bilinsky S, Abrahams P, Diamond M, Shoja MM, Tubbs RS. Surgery in early Jewish history. *Clin Anat.* 2011 Mar;24(2):151-4. doi: 10.1002/ca.21096. Epub 2011;Jan 3.
- 23). MacKenzie EJ, Jones AS, Bosse MJ, Castillo RC, Pollak AN, Webb LX, Swiontkowski MF, Kellam JF, Smith DG, Sanders RW, Jones AL, Starr AJ, McAndrew MP, Patterson BM, Burgess AR. Health-care costs associated with amputation or reconstruction of a limb-threatening injury. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;Aug;89(8):1685-92.
- 24). Manring MM, Hawk A, Calhoun JH, Andersen RC. Treatment of war wounds: a historical review. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;Aug;467(8):2168-91.
- 25). Mihalko JM, Martinez SF. Lower limb amputation. *Campbell's Operative Orthopedics*, 11th ed. Mosby Elsevier, Philadelphia, 2008; pp 601–613.

- 26). Mongon ML, Davitt M, Carvalho JA, Belangero WD, Livani B. Transtibial amputation using the Ertl bony bridge technique. *Eur Orthop Traumatol.* 2010;1:21.
- 27). Moulik PK, Mtonga R, Gill GV. Amputation and mortality in new-onset diabetic foot ulcers stratified by etiology. *Diabetes Care.* 2003;Feb;26(2):491-4.
- 28). Ottaviani G, Robert RS, Huh WW, Jaffe N. Functional, psychosocial and professional outcomes in long-term survivors of lower-extremity osteosarcomas: amputation versus limb salvage. *Cancer Treat Res.* 2009;152:421-36.
- 29). Pascual Gómez F. Amputations, walking and prosthesis development. *An R Acad Nac Med (Madr).* 2003;120(3):593-607.
- 30). Peek ME. Gender differences in diabetes-related lower extremity amputations. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;Jul;469(7):1951-5.
- 31). Pinto MA, Harris WW. Fibular segment bone bridging in trans-tibial amputation. *Prosthet Orthot Int.* 2004;28:220–4.
- 32). Pinto MA, Astur Filho N, Guedes JP, Yamahoka MS. Ponte óssea na amputação transtibial. *Rev Bras Ortop.* 1998;33 (7) Jul: 525-31.
- 33). Pinzur MS, Beck J, Himes R, Callaci J. Distal tibiofibular bone-bridging in transtibial amputation. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;Dec;90(12):2682-7.

- 34). Pinzur MS, Pinto MA, Saltzman M, Batista F, Gottschalk F, Juknelis D. Health-related quality of life in patients with transtibial amputation and reconstruction with bone bridging of the distal tibia and fibula. *Foot Ankle Int* 2006;27:907–912.
- 35). Sanders LJ, Robbins JM, Edmonds ME. History of the team approach to amputation prevention: pioneers and milestones. *J Vasc Surg.* 2010;Sep;52(3 Suppl):3S-16S.
- 36). Shanmuganathan R. The utility of scores in the decision to salvage or amputation in severely injured limbs. *Indian J Orthop.* 2008;Oct;42(4):368-76.
- 37). Siddique MK¹, Bhatti AM. A two-year experience of treating vascular trauma in the extremities in a military hospital. *J Pak Med Assoc.* 2013;Mar;63(3):327-30.
- 38). Stahel PF, Oberholzer A, Morgan SJ, Heyde CE. Concepts of transtibial amputation: Burgess technique versus modified Brückner procedure. *ANZ J Surg.* 2006;Oct;76(10):942-6.
- 39). Tintle SM, Keeling JJ, Forsberg JA, Shawen SB, Andersen RC, Potter BK. Operative complications of combat-related transtibial amputations: a comparison of the modified burgess and modified Ertl tibiofibular synostosis techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;Jun 1;93(11):1016-21.

- 40). Valerio IL¹, Sabino J, Bevevino A, Tintle SM, Fleming M, Kumar A. Sequential free tissue transfers for simultaneous upper and lower limb salvage. *Microsurgery*. 2013;Sep;33(6):447-53.
- 41). Yurttas Y, Kürklü M, Demiralp B, Atesalp AS. A novel technique for transtibial amputation in chronic occlusive arterial disease: Modified Burgess. *Prosthet Orthot Int*.2009; Mar;33(1):25-32.

7. Anexos

7.1. Anexo 1: Transtibial amputation using the Ertl bony bridge technique

Eur Orthop Traumatol (2010) 1:21–24
DOI 10.1007/s12570-010-0005-y

ORIGINAL ARTICLE

Transtibial amputation using the Ertl bony bridge technique

Maurício L. Mongen · Michael Davitt ·
José A. Carvalho · William Dias Belangero ·
Bruno Livani

Received: 15 March 2010 / Accepted: 27 March 2010 / Published online: 23 April 2010
© EFORT 2010

Abstract

Introduction Between 1998 and 2008, 16 adults patients underwent unilateral transtibial amputation and had the distal ends of the tibia and fibula linked using the Ertl bony bridge technique. The patients ranged in age from 18 to 55 years and had a mean postoperative follow-up of 6.8 years.

Purpose The purpose of the surgery was to (1) create a rigid, stable bone framework; (2) restore the intramedullary bone physiology; and (3) increase the capacity of the distal end of the stump to support the body weight.

Results and discussion The average soft tissue healing time did not differ from that of the classical procedure. Radiographically, all patients developed proper bony bridges, in an average period of 11 weeks. The technique had excellent functional results, allowing terminal weight bearing without pain.

Conclusion This technique provides an excellent alternative to other techniques described in the literature.

Keywords Transtibial amputation ·
Ertl bony bridge technique · Surgery

Introduction

Amputations, especially of the lower limbs, are among the most ancient surgical procedures and give excellent results, under the correct indications [1]. Despite modern reconstruction techniques and replantation, the preservation of a seriously traumatized limb, or even a limb affected by a

congenital malformation, usually gives poorer functional results compared with amputation and prosthetization [2].

Of the possible levels of amputation, transtibial amputations result in functionally excellent outcomes. However, acute or late complications related to the amputated stump are frequent with the various described techniques [3]. Most techniques leave the medullary canal open, resulting in the loss of intrasosseous pressure, which can alter endosteal vascularization. In painful stumps that need revision, loss of the distal sinusostosis is common; this evolves with the approximation between the bones, funneling the extremity and allowing posterior migration of the cushion, which usually prevents functional prosthesis adaptation [4].

In 1949, Ertl described a surgical technique that restored the interosseous pressure through canal obliteration and expanded the area of terminal support by forming a bony bridge between the fibula and distal tibia [5]. Here, we evaluated 16 amputees who underwent transtibial amputation using the bony bridge technique described by Ertl.

Patients and method

Between 1998 and 2008, 16 adults patients underwent leg amputation who had infectious (seven patients) or traumatic (11 patients) disorders requiring transtibial amputation (Table 1). All the patients were operated on by the same surgeon.

The age ranged from 18 to 55 years old (average 28.8 years). Eleven were male and five female. The follow-up ranged from 3 to 11 years (average 6.8 years).

The Ertl technique was used in all patients [3].

Surgical technique

The bony bridge construction between tibia and fibula must be performed as far distally as possible, and the desired

M. L. Mongen · M. Davitt · J. A. Carvalho · W. D. Belangero ·
B. Livani (✉)
Department of Orthopedics, Faculty of Medical Science,
University of Campinas (UNICAMP),
Campinas, Brazil
e-mail: bruno@livani@hotmail.com

Table 1 Casuistic data of 16 adults patients amputated by Erd technique

Patient number	Gender	Age (years)	Etiology	Complications	Follow-up (years)
01	Male	18	Osteomyelitis	No	11
02	Female	25	Osteomyelitis	No	10
03	Male	21	Traumatic	No	10
04	Male	28	Osteomyelitis	Yes	10
05	Male	35	Traumatic	No	9
06	Female	23	Traumatic	Yes	9
07	Male	49	Osteomyelitis	No	8
08	Female	55	Osteomyelitis	No	8
09	Male	27	Traumatic	No	7
10	Male	24	Traumatic	No	6
11	Male	19	Traumatic	No	5
12	Female	21	Traumatic	No	4
13	Female	29	Osteomyelitis	No	4
14	Male	33	Traumatic	No	3
15	Male	31	Osteomyelitis	No	3
16	Male	24	Traumatic	No	3

level is the osseous equivalent of the muscle-tendon transition of the gastrocnemius muscle.

The surgical procedure begins with two ca. 8-cm longitudinal incisions, one anterolateral and the other posteromedial, starting 2.5 cm above the level proposed for the tibial osteotomy. Distally, these incisions are connected by a circular incision. The two flaps so formed are elevated, assuring that the deep fascia and muscular aponeurosis remain intact. Then, a vertical incision is made in the deep fascia, just lateral to the tibial crest. At this point, extreme care must be taken to avoid damage to the periosteum. Another vertical incision is made through the deep fascia, aligned with the fibula. All of the anterior and lateral compartment muscles are removed. Up to this point, both bones and the interosseous membrane have remained intact.

The fibula is sectioned at the same final level planned for the tibia, preserving the interosseous membrane. The tibia is sectioned about 8 cm below the fibula, and the amputated distal extremity is removed.

About 1 cm above the level of the definitive tibial osteotomy, two vertical incisions are made in the tibial periosteum and extending distally for about 8 cm, dividing the periosteum into two flaps. The anterior flap is determined by the periosteum that comprises the subcutaneous area of the tibia. Then, these flaps are elevated from distal to proximal with a chisel, so that small cortical bone fragments remain adhered to the periosteum (Fig. 1). This elevation is extended to a point 1 cm above the proposed section level.

Now, the tibia can be osteotomized at the definitive level. Then, the anterodistal extremity is sculpted carefully.

Fig. 1 **a** Two tibial osteoperiosteal flaps. **b** Construction of a osteoperiosteal tube made from two tibial osteoperiosteal flaps

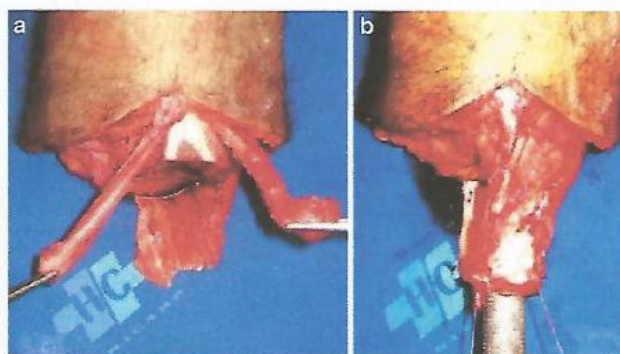
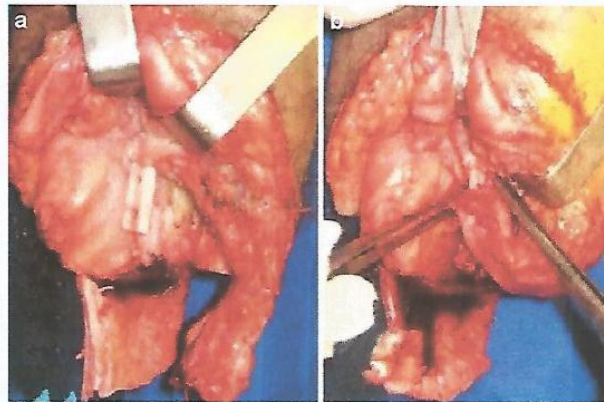


Fig. 2 **a** Fibula with two holes for the tibial osteoperiosteal tube fixation. **b** Fibula inside the tibial osteoperiosteal tube ready to be fixed with sutures



Before constructing the osteoperiosteal tube, the main vasculo-nervous plexus must be isolated carefully, with the artery and vessels clamped separately and with the nerves clamped and sectioned after mild traction, so that they will retract proximally.

Then, the osteoperiosteal flaps are cut to the proper size, reflected on the fibula, and sutured to it through the perforation made previously when it was sectioned. The posterolateral flap is sutured first, followed by the anteromedial flap. Finally, the two patches are sutured to each other, forming an osteoperiosteal tube that connects the tibia to the fibula, distally (Fig. 2).

When the bony bridge is completed, a cushion must be prepared from the two muscle flaps, the aponeurosis, and the remaining intact deep fascia. These must be sculpted properly to allow them to be sutured together and to the osteoperiosteal tube, as well as to its base, under mild tension.

The deep posterior compartment musculature should be resected at the same level as the tibial osteotomy, leaving only the gastrocnemius muscle as a posterior flap. For the tibia, the prominence formed by its crest must be sculpted with round corners, without osseous prominences.

The deep musculature enlarges the stump distal volume, beyond the fact that the soleus muscle generates intramural venous lakes that may contribute to local hematoma formation. At this point, drains should be installed in the bone and muscular plane. Both long flaps of skin are then cut and sutured under mild tension. Suction drainage is also established in the subcutaneous plane.

The skin suture is positioned almost perpendicularly to the muscular plane suture; this helps prevent the formation of undesirable adherent scars among the planes. The surgical dressing used is the same as that recommended for a conventional amputation, i.e., an elastic compression

dressing consisting of orthopedic cotton and an elastic bandage. Early knee motion is encouraged.

Results

Fifteen patients developed a functional stump with painless terminal weight-bearing support. The average healing time did not differ from that of the classical procedure.

In this series, infection was the only complication observed. Two patients had superficial infections that were treated with debridement and first-generation cephalosporins. One of these patients, with diabetes mellitus, had a late deep infection of the stump. As the infection did not resolve, it was necessary to raise the level of amputation to a knee disarticulation, which healed subsequently.

Radiographically, 15 cases developed proper bony bridges in an average period of 11 weeks (Fig. 3). All 15

Fig. 3 Patient 08 radiograph, showing complete ossified bony bridge after 8 years postoperative



patients received prostheses and reported satisfactory qualities of life.

Discussion

Generally, the quality of life of a lower limb amputee with a functional stump is similar to that of an average person [6]. Consequently, a technically well-constructed stump must be the objective of the orthopedic surgeon. Unfortunately, many amputations are delegated to less experienced professionals, which can lead to poor functional results, chronic stump pain, and prosthetization difficulties [1].

In the classical transtibial amputation, the fibula is osteotomized about 1 cm shorter than the tibia, avoiding the excessive concentration of pressure at this location during the gait after prosthetization. The complications common with this technique may require stump revisions and result in high late-morbidity rates [7].

The initial shape of the amputation stump can funnel, which can cause pain and difficulty adapting to a prosthesis. The distal narrowing of the stump is caused by posteromedial migration of the fibula, which tends to medialize with weight bearing, as it lacks a distal contention (i.e., the syndesmosis was lost). Given that pressure equals force divided by the area (i.e., $P=F/A$), a smaller stump area experiences greater pressure and is thus more likely to develop ulcers, late infection, and pain. Conversely, a larger area of support allows for a wider distribution of pressure, which reduces the likelihood of pain and increases the weight-bearing ability of the terminal stump. This is particularly important for meeting the greater functional demands in patients such as young people, athletes, military, and professionals who exert more physical effort [8].

A change in the intraosseous pressure and the consequent reduction in perfusion result from an open distal tibia and can cause stump pain [9]. In addition, a delay in or absence of the use of a stump can lead to progressive osseous demineralization (non-use osteoporosis), which is generally painful; the pain further reduces stump use, leading to a vicious cycle that incapacitates the patient. Often, socioeconomic difficulties result and an associated depression develops. The sooner the patient returns to a daily routine, the greater are the chances of socioeconomic re-adaptation [10].

In 1949, Ertl described an amputation technique using a bony bridge that, in theory, dealt with all of the inconveniences of the conventional transtibial amputation mentioned above. This procedure closes the medullary canal with cortical bone, which restores the intraosseous pressure,

blood flow, and vascularization [5]. The resulting bony bridge increases the terminal area of the stump, makes it more stable, and avoids the posteromedial migration of the fibula and the consequent funneling. A larger base distributes the weight over a wider area, reducing the pressure.

One inconvenience of this technique is that the initial level of the lesion cannot be very proximal in the tibia, because this would prevent the construction of an osseous-periosteal tube of proper length. Consequently, a bony bridge is impossible in oncologic cases requiring a wide surgical margin and in many cases of trauma. In the cases presented here, the amputations were performed in patients who had trauma to the lower limbs requiring either early amputation or amputation following the development of painful chronic osteomyelitis.

Conclusion

The construction of a bone bridge as described by Ertl is a safe and effective procedure that allows painless terminal weight bearing. It is particularly useful in young patients, athletes, and patients with great physical demands.

References

1. Dougherty PJ (2006) War wounds, limb salvage, and traumatic amputations. Rockwood & Green's Fractures in Adults, 6th edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 477–494
2. Mihalko JM, Martinez SF (2008) Lower limb amputation. Campbell's Operative Orthopedics, 11th edn. Mosby Elsevier, Philadelphia, pp 601–613
3. Pinzur MS, Gottschalk FA, Pinto MA, Smith DG (2007) American Academy of Orthopaedic Surgeons. Controversies in lower-extremity amputation. J Bone Joint Surg Am 89:1118–1127
4. Smith DG, Berke GM (2004) Post-operative management of the lower extremity amputee. J Prosthet Orthot 16:2–14
5. Ertl J (1949) Über amputationsstumpfe Chirurg 20:218–224
6. Pinzur MS, Pinto MA, Saltzman M, Batista F, Gottschalk F, Juknelis D (2006) Health-related quality of life in patients with transtibial amputation and reconstruction with bone bridging of the distal tibia and fibula. Foot Ankle Int 27:907–912
7. Pinto MA, Harris WW (2004) Fibular segment bone bridging in trans-tibial amputation. Prosthet Orthot Int 28:220–224
8. Legro MW, Reiber GD, Smith DG, del Aguila M, Larsen J, Boone D (1998) Prosthesis evaluation questionnaire for persons with lower limb amputations: assessing prosthesis-related quality of life. Arch Phys Med Rehabil 79:931–938
9. Deffer PA, Moll JH, LaNoue AM (1971) The Ertl osteoplastic below-knee amputation. J Bone Joint Surg Am 53:1028
10. Harness N, Pinzur MS (2001) Health related quality of life in patients with dysvascular transtibial amputation. Clin Orthop Relat Res 383:204–207

7.2. Anexo 2: A case series featuring extremely short below-knee stumps

Case Report



A case series featuring extremely short below-knee stumps

Jose Andre Carvalho, Mauricio Dias Mongon,
William Dias Belangero and Bruno Livani

Prosthetics and Orthotics International
0(0) 1–3
© The International Society for
Prosthetics and Orthotics 2012
Reprints and permission:
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0309364611430535
poi.sagepub.com
SAGE

Abstract

Background: Lower limb amputations should be evaluated carefully, especially with regard to the possibility of preserving the knee joint to enable a more physiological gait and lower energy consumption. Below-knee amputations were performed immediately below the tibial tuberosity with maintenance of the insertion of the patellar tendon, resulting in very short, but functional, stumps.

Case Description and Methods: This study examined whether very short below-knee stumps allow a more functional gait, as compared to more proximal amputations. Between June 2010 and June 2011, four patients had extremely short below-knee amputations, with resection of the head of the fibula at the junction and reinsertion of the collateral ligaments and structures attached to the tibia. This was followed by placement of a prosthesis with a vacuum-assisted suspension socket.

Findings and Outcome: At the end of treatment, patients that underwent transtibial amputations with an extremely short stump, were considered well adapted to their prosthesis and were satisfied in relation to the acquired gait patterns.

Conclusion: The extremely short below-knee amputation, despite having a short lever arm, should be considered as another option for lower-limb amputations, although we cannot yet assure that other patient groups undergoing this level of amputation may have the same results of the study.

Clinical relevance

The extremely short below-knee amputation, despite having a short lever arm, should be considered as an option for lower limb amputations, as it can provide a prosthetic provision with good functional outcome.

Keywords

Rehabilitation of amputees, rehabilitation of prostheses users

Date received: 13 August 2011; accepted: 29 October 2011

Background

Currently, amputations are indicated for different reasons, such as neuropathic and vascular diseases, trauma, infections, tumors and congenital malformations. The surgical techniques follow specific principles, seeking to provide a good residual limb, which allows a proper fitting to restore the functionality of the amputee. However, the choice of the level of amputation should be addressed thoroughly, so that the best results are achieved with rehabilitation.

In lower limb amputations, the proximal level of below-knee amputation that enables almost normal function should be considered.¹ The preservation of the knee joint allows good control of the prosthesis while walking, because the knee flexion and extension in stance and swing phases is physiological. Burgess defined the ideal length

for below-knee amputation as 15 cm below the knee.² According to Mayfield, short below-knee stumps have bone lengths of 5.1–10 cm and very short stumps have lengths of 2.54–5.1 cm.³ According to Pant and Younge, below-knee stumps less than 3 cm are not functional, and suggest lengthening of the stump with the distal tibia.⁴

In more proximal amputations, such as knee disarticulation and above-knee amputation, the presence of a mechanical knee, with different mechanisms positioned

HC – Unicamp, Campinas, Brazil

Corresponding author:

Jose Andre Carvalho, HC – Unicamp, R. Onze de Agosto, 376 Centro,
Campinas 13010-140, Brazil
Email: ipo@ipobrasil.com.br

distal to the amputation stump, requires compensatory movements performed by the hip extensor and flexor muscles to control the knee joint, increasing the energy expenditure when using the prosthesis.^{5,6} According to Gonzales et al., this increases the energy expenditure of above-knee amputees during walking by up to 65%.⁷ Pinzur et al. found that below-knee amputations have a lower energy expenditure, although the shorter stump consumes more energy when walking, as compared to longer below-knee stumps.^{8,9}

Considering the great advantage of below-knee amputation in relation to higher levels, a below-knee amputation can be performed immediately below the tibial tuberosity, maintaining the insertion of the patellar tendon, and resulting in extremely short functional stumps, allowing good fitting and rehabilitation.

Case Description and Methods

Between June 2010 and June 2011, four below-knee amputations with very short stumps were performed at the Clinical Hospital of the XXXXXXXX XX XXXXXXXX, in patients who would otherwise have undergone above-knee amputations. The study was submitted to ethical approval and informed consent was obtained from the patients. The patients were male and had amputations caused by trauma. Their mean age was 36 (range 24–47) years (Table 1). The tibial bone stumps were 4.0–4.8 cm long, as measured using nuclear magnetic resonance (NMR). In the surgical procedure for very short stumps, the total resection of the fibula is performed to regulate the bone in the region of the proximal tibiofibular junction and involves a new insertion of the collateral ligaments and the structures attached to the tibia. The removal of the fibular head allows the surgeon to gain extra skin, which is often important for covering the stump. The stumps were kept in rigid extension with a bandage for three weeks.

After three weeks, the sutures were removed and the patients referred for rehabilitation. Guidance on the use of a compressive elastic bandage for 23 hours/day, positioning the stump in extension, isometric contraction exercises, and strengthening the flexor and extensor muscles of the knee was given. The fitting process was initiated eight weeks post-surgery, using endoskeleton prosthetic legs with a vacuum-assisted suspension socket. The rehabilitation process and gait training started between parallel bars and then with the aid of a cane to complete independence with patients

ambulating on flat and uneven, ramps and stairs. Rehabilitation of amputees with prostheses was carried out for eight weeks. The six-minute walk test (6MWT) was fulfilled in the last week of training and the average result was 255 (range 250–262) meters (Table 1).¹⁰ The stumps were examined daily after the training session. No complication was observed during the training period and the patients showed no significant gait deviations. At the end of the study a verbal yes/no question was performed to evaluate a patient's level of satisfaction with their prosthesis.

Discussion

The maintenance of the knee joint is critical to the successful rehabilitation of amputees, especially elderly amputees or those with vascular disease and other comorbidities, which currently represent the largest population of amputees.

In this small case series, we note a limitation in the study because it involved only young patients, male and trauma amputees. Further more comprehensive investigation with other patient groups (male, female, age and etiology) must be carried out to check whether patients will also benefit from the proposed level of amputation.

Census data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics in 2000, revealed the existence of 24.5 million people with a disability in Brazil, representing 14.5% of the population. Of these, 5.31% have amputations, which represents more than 1.3 million Brazilians. It is estimated that lower-limb amputations constitute 85% of all amputations, although there is no accurate epidemiological information.

In 1991, Bowker defined the optimal level of amputation as the most distal level possible with healing potential.¹¹ Although the ideal surgical level for below-knee stumps is considered to be the muscle-tendon junction of the gastrocnemius, the classification and length are controversial. According to Mayfield, short transtibial stumps are 5.1–10 cm and very short stumps 2.54–5.1 cm, while Bowker recommended that the length of the transtibial stump should not be absolute, but related to height.^{1,2} In this study we define extremely short stumps as those involving cross-sections made just below the bony insertion of the patellar tendon on the tibial tuberosity. This insertion, which is responsible for the action of the quadriceps in knee extension and control of the prosthesis, is critical to the functionality at this level of amputation.

Table 1. Subject characteristics and six-minute walk test (6MWT).

Subject	Sex	Age (years)	Length of the stump (cm)	6MWT (m)
1	M	35	4.0	250
2	M	38	4.3	256
3	M	24	4.8	262
4	M	47	4.5	252
Mean		36	4.4	255

Regardless of etiology, a below-knee amputation has numerous advantages, like preservation of the knee joint, reduction in energy consumption during walking, ease of placement and removal of the prosthesis and easier rehabilitation. Therefore, this amputation level should be prioritized, even when the procedure will result in an extremely short stump.

According to Pedrinelli, the success of rehabilitation following amputation surgery is related to the level. At least 90% of the patients with below-knee amputations, but only 25% of above-knee amputations, make proper use of the prosthesis.¹²

With prosthetics, an anatomical cartridge with a greater total contact area helps to distribute pressure. With resection of the fibula, it became possible to support weight on the side of the stump, which became important with this type of fitting. The prosthesis for short stumps can have a patellar-tendon-supracondylar type socket or a vacuum system. Due to the small lever inside the prosthetic socket, the stump can move within the socket during forced flexion or when the patient is seated. We used sockets with a vacuum suspension system, which, in addition to providing greater protection and comfort, best fixed the stump in the prosthesis socket during use. We did not include any auxiliary socket or suspension to stabilize the knee joint, as proposed by Isakov et al. when fitting a very short stump with a Swedish knee-cage.¹³

Conclusion

The preservation of the knee joint in lower-limb amputees is key to a more functional prosthesis with less energy expenditure. However, many surgeons still perform proximal amputations, like knee disarticulation and above-knee amputations, because they do not believe that extremely short below-knee stumps can be functional. An extremely short below-knee stump can be performed since it preserves the insertion of the patellar tendon and good circulation. The extremely short below-knee amputation, despite having a short lever arm, should be considered as an option for lower limb amputations, as it allows a prosthetic provision with good functional outcome. The results indicate that patients in this study were considered well adapted and satisfied with their prosthesis based on gait pattern and daily independence. Future research is needed to determine whether the same results are found in other patient groups, such as older amputees with peripheral arterial disease and after above-knee amputation.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

1. Bowker JH. Transtibial amputation. In: Murdoch G and Wilson BW Jr (eds) *Amputation surgical practice and patient management*. London: Butterworth Heinemann, 1996: 43–58.
2. Burgess EM. The below knee amputation. *Bull Prosthet Res* 1968; 10: 19–25.
3. Mayfield, GM. Vietnam war amputees. In: Ballard A (ed) *Orthopedic surgery in Vietnam*. Washington, DC: United States Army, 1994: 132–153.
4. Pant R and Younge D. Turn-up bone flap for lengthening the below knee amputation stump. *J Bone Joint Surg* 2003; 85-B: 171–173.
5. Starholm IM, Gjovaag T and Mengshoel AM. Energy expenditure of transfemoral amputees walking on a horizontal and tilted treadmill simulating different outdoor walking conditions. *Prosthet Orthot Int* 2010; 34(2): 184–194.
6. Rougier PR, Bergeau J. Biomechanical analysis of postural control of persons with transtibial or transfemoral amputation. *Am J Phys Med Rehabil* 2009; 88: 896–903.
7. Gonzalez EG, Corcoran PJ and Reyes RL. Energy expenditure in below-knee amputees: Correlation with stump length. *Arch Phys Med Rehabil* 1974; 55: 111–119.
8. Pinzur MS. New concepts in lower-limb amputation and prosthetic management. *Instr Course Lect* 1990; 39: 361–366.
9. Majumdar K, Lenka PK, Mondal RK, Kumar R and Tribervala DN. Relation of stump length with various gait parameters in trans-tibial amputees. *Online J Health Allied Scs* 2008; 7(2): 1–6.
10. Lin S and Bose NH. Six-minute walk test in persons with transtibial amputation. Boston, MA: American Physical Therapy Association, February 14–17 2007.
11. Bowker JH. Surgical techniques for conserving tissue and function in lower-limb amputation for trauma, infection and vascular disease. Instructional Course/lectures, AAOS 1991; Chapter 44.
12. Pedrinelli A. Amputações traumáticas do membro inferior. In: Carvalho JA (ed.) *Amputações de membros inferiores: Em busca da plena reabilitação 2ª edição*, Ed. Manole 2003: 83–106.
13. Isakov E, Mizrahi J, Susak Z and Onna I. A Swedish knee-cage for stabilizing short below-knee stumps. *Prosthet Orthot Int* 1992; 16: 114–117.