

Notes on the history of the radiological study of Egyptian mummies: from X-rays to new imaging techniques

Appunti sulla storia dello studio radiografico delle mummie antiche egiziane: dalla radiografia convenzionale alle più recenti tecniche di immagine

P. Cosmacini¹ · P. Piacentini²

¹Unità Operativa di Radiologia, Ospedale Maggiore Policlinico, Mangiagalli e Regina Elena di Milano, Via F. Sforza 35, 20122 Milano, Italy

²Professore Ordinario di Egittologia, Università degli Studi di Milano, Via Festa del Perdono 7, 20122 Milano, Italy
Correspondence to: P. Cosmacini, Tel.: +39-06-37516313, Fax: +39-06-32110170, e-mail: pcosmacini@yahoo.it

Received: 24 July 2007 / Accepted: 30 July 2007 / Published online: 3 June 2008
© Springer-Verlag 2008

Abstract

A few centuries after the practice of mummification was finally abolished in the seventh century A.D., mummies began to capture the collective imagination, exerting a mysterious fascination that continues to this day. From the beginning, the radiological study of Egyptian mummies permitted the collection not only of medical data but also of anthropological and archaeological evidence. The first radiological study of an Egyptian mummy was performed by Flinders Petrie shortly after the discovery of X-rays in 1895, and since then, radiology has never stopped investigating these special patients. By the end of the 1970s, computed tomography (CT) scanning permitted more in-depth studies to be carried out without requiring the mummies to be removed from their cartonnage. CT images can be used to obtain a three-dimensional reconstruction of the mummy that provides important new information, in part thanks to the virtual endoscopy technique known as “fly through”. Moreover, starting from CT data and using sophisticated graphics software, one can reconstruct an image of the face of the mummified individual at the time of his or her death. The history of imaging, from its origins until now, from the simplest to the most sophisticated technique, allows us to appreciate why these studies have been, and still are, fundamental in the study of Egyptian mummies.

Keywords Diagnostic imaging · Mummies · Egypt

Riassunto

Pochi secoli dopo la definitiva abolizione della pratica della mummificazione, avvenuta nel VII secolo dC, le mummie cominciarono a colpire l'immaginario collettivo esercitando un fascino misterioso che continua fino ai nostri giorni. Lo studio radiografico delle mummie antiche egiziane ha, fin dal suo inizio, permesso di raccogliere informazioni importanti non solo dal punto di vista medico ma anche dal punto di vista antropologico e archeologico. Poco dopo la scoperta dei raggi X del 1895, Flinders Petrie ottenne la prima immagine radiografica di una mummia egizia. Da quel giorno la radiologia iniziò a indagare questi particolari pazienti. Alla fine degli anni '70, l'esame TAC ha permesso di approfondire lo studio, consentendo di lasciare la mummia nel suo sarcofago. Dalle immagini TAC si può ottenere la ricostruzione tridimensionale della mummia che permette di fornire altre e importanti informazioni, grazie anche all'utilizzo della tecnica di endoscopia virtuale. Inoltre, sempre partendo dai dati TAC e utilizzando sofisticati programmi di grafica elettronica, si può ottenere la ricostruzione dell'immagine del volto dell'individuo mummificato al momento della sua morte. La storia degli studi di imaging, dall'inizio a oggi, dai più semplici ai più sofisticati, ci permette di capire che essi sono stati e restano fondamentali nello studio delle mummie antiche egiziane.

Parole chiave Diagnostica per immagini · Mummie · Egitto

Introduction

The first Egyptian mummies date back to the early third century B.C. and the last to the fifth century A.D. [1, 2]. Between 391 and 392 A.D., in fact, four Theodosian Decrees (that followed the Edict of Thessaloniki *De Fide Catholica* of February 27, 380, through which emperor Theodosius I declared Christianity as the official religion of the Roman Empire) indirectly banned the practice of mummification, which went into gradual decline, eventually to be completely abandoned with the Arab conquest of Egypt in 641. Within a few centuries, Egyptian mummies started to capture the collective imagination and exert a mysterious fascination that continues to this day, with mummies becoming a fashionable subject in both literature and film-making.

In the twelfth century, medicine began to develop an interest in Egyptian mummies, as witnessed by the mention of them in treatises by the physician Matthaëus Platearius of Salerno (1130–1160) and the Arab physician Abd el-Latif (1162–1231), who highlight the virtues of the bituminous substance found in the abdomen and skull of embalmed corpses. This substance was named *al- mûmîa al-quburi* (the mummy of tombs) by the physician and botanist from Malaga, Ibn al-Baytar (1179–1248) to differentiate it from the similar substance of mineral origin [3].

On the other hand, the possible healing properties of bitumen, pissasphalt or similar materials – *moüümîya* in Persian and *mûmîa* in Arabic – were already known in antiquity, as documented by the Greek physician Dioscorides Pedanius (40–90 A.D.) and the Persian physician Ibn Sina (980–1037), better known as Avicenna. *Mûmîa*, of both the mineral kind found in nature and the kind employed during embalming and thus contained in corpses was especially recommended for use as an unguent to promote the healing of wounds and fractures and coagulation of blood. It was also recommended per os as a painkiller, antiemetic and a remedy for poisoning, liver disease, and seizures, as well as in the form of inhalations to treat cough and sore throat.

In 1584 the famous French surgeon Ambroise Paré (1509–1590) vehemently condemned the use of the substance, describing its many more disadvantages than benefits and commenting ironically on its use (“Egyptians were not embalmed to be eaten by Christians”) [4]. Nonetheless *mûmîa* continued to be used for at least another 300 years in the form of unguents, creams and tinctures. Mummy powder was still being used against haemorrhage by the Arabs of the village of Gurna in Egypt in the early twentieth century, and in the mid 1970s, it could still be found in some New York drugstores where it was apparently sold for use in magic potions [5].

Introduzione

Le più antiche mummie egizie risalgono agli inizi del III millennio aC, le ultime al V secolo dC [1, 2]. Tra il 391 e il 392 infatti, con i quattro “Decreti teodosiani” (che fanno seguito all’Editto di Tessalonica De Fide Catholica del 27 febbraio 380, con il quale l’imperatore Teodosio I proclamava il cristianesimo religione ufficiale dell’impero romano), veniva proibita, sia pure indirettamente, la pratica della mummificazione che in tal modo gradualmente declinò, per essere poi del tutto abbandonata con la conquista araba dell’Egitto nel 641. Ma già pochi secoli dopo le mummie cominciarono ad attirare e colpire l’immaginario collettivo, esercitando un fascino misterioso che è continuato e si è accresciuto sino ad oggi, facendo della mummia l’oggetto di una vera e propria “moda” tanto nella letteratura quanto nella cinematografia.

La medicina iniziò a interessarsi delle mummie egizie nel XII secolo, come è attestato dalle menzioni che in allora ne fecero nei loro trattati il medico salernitano Matthaëus Platearius (1130–1160) e il medico arabo Abd el-Latif (1162–1231) sottolineando le virtù della sostanza bituminosa ritrovata nell’addome e nel cranio dei cadaveri imbalsamati; tale sostanza fu chiamata “al- mûmîa al-quburi” (“la mummia delle tombe”) dal medico e botanico malaghegno Ibn al-Baytar (1179–1248) per differenziarla dalla sostanza analoga di origine minerale [3].

D’altra parte, che il bitume, il pissasfalto o materie simili – in persiano “moüümîya”, quindi in arabo “mûmîa” – avessero poteri curativi era già noto dall’antichità, come ricorda il medico greco Dioscoride Pedanio (40–90 dC) e il medico persiano Ibn Sina (980–1037), meglio noto come Avicenna. L’utilizzazione della “mûmîa”, sia di quella minerale che si trovava direttamente in natura sia di quella usata durante l’imbalsamazione e conservata quindi all’interno dei cadaveri, era soprattutto raccomandata, sotto forma di unguento, per favorire la guarigione di ferite, il consolidamento di fratture e la coagulazione del sangue, ma era anche consigliata, assunta per os, come antidolorifico, antiemetic, in casi di avvelenamento, per le malattie del fegato, per le crisi epilettiche, e sotto forma di suffumigi per curare tosse e faringodinia.

Nel 1584 il celebre chirurgo francese Ambroise Paré (1509–1590) condannò aspramente l’utilizzo di questa sostanza descrivendone gli svantaggi di molto maggiori rispetto ai vantaggi e ironizzando sul suo utilizzo (“gli egizi non si sono fatti imbalsamare per essere mangiati dai cristiani”) [4]. Ciò nonostante la “mûmîa” continuò a essere utilizzata per almeno altri trecento anni per lo più sotto forma di unguenti, creme e tinture; ancora agli inizi del XX secolo la “polvere di mummia” era utilizzata dagli arabi del

History of radiological study of Egyptian mummies

With the discovery of X-rays in the late nineteenth century, the medical community began to regard mummies no longer as a source of health remedies but as objects of investigation in themselves, capable of providing direct testimony of a long-gone world: hence, the importance of mummies for the purposes of scientific, archaeological and historical research. Since its beginnings, the radiological study of Egyptian mummies produced excellent-quality material, allowing collection of important paleopathological and anthropological information. The mummies of Egypt, traversed by beams of ionising radiation, travel through time to tell the story not only of their own lives, but also of their epoch. They provide both direct evidence of pathophysiological data, and are thus of paleopathological relevance, and a indirect testimony to the culture of their period, and are thus of anthropological and archaeological relevance [6].

Furthermore, important additional information is provided by the mummification process itself and the radical changes it underwent over time – from the natural desiccation of the older mummies by the dry desert sands placed in direct contact with the body, to the sophisticated methods of perfect artificial mummification through the use of desiccating agents such as the mixture of natural sodium carbonate and bicarbonate known as *natron* and certain resins [7]. Early in the history of Ancient Egypt, in the Pre-Dynastic Period (before 3100 B.C.), the mummification process was unintentional and produced by natural factors. It was not until the beginning of the Archaic Period (3100 B.C.) that the process became artificial, though very simple: the body was left intact and wrapped in thin strips of linen. Evisceration was performed starting from the beginning of the Old Kingdom (2778 B.C.), and the mummification process was progressively refined during the New Kingdom (Fig. 1) and perfected during the Twenty-first Dynasty (1078–945 B.C.). In the Late Period and Ptolemaic Period (672–30 B.C.), the art declined gradually until the Period of Roman Rule (30 B.C. – fourth century A.D.), when mummification was again characterised by external wrappings only. Moreover, starting from the early Old Kingdom, the increasingly sophisticated process appears to have been an obligation for royal descendants, which then extended to high-ranking officials, and later connected only to the census and finally not even to the census. During the Persian Rule (circa sixth and fifth centuries B.C.), anyone could request to be mummified, and they had a choice of three embalming methods: one more expensive, one simple and inexpensive and one intermediate [8–11]. As a result, a careful study of the type of mummification and its variants and of funerary customs indirectly reveal the individual's social status and the culture of the historical period. Analysis of radiographic images provides information on the individual's gender and

villaggio di Gurna, in Egitto, per combattere le emorragie e, alla metà degli anni '70 del secolo scorso, la si poteva trovare in alcuni drugstore di New York, apparentemente destinata a essere utilizzata in pozioni magiche [5].

Storia dello studio radiografico delle mummie antiche egiziane

Alla fine del XIX secolo, con la scoperta dei raggi X, la medicina cominciò a considerare le mummie non più come matrici di sostanza a scopo terapeutico, ma come oggetti di indagine per desumerne diretta testimonianza di un mondo scomparso: di qui la loro importanza ai fini della ricerca scientifica, archeologica e storica. Lo studio radiografico dei corpi mummificati degli antichi egizi ha prodotto, fin dal suo esordio, materiale di eccellente qualità che ha permesso di raccogliere dati paleopatologici e informazioni antropologiche di rilievo. Le mummie dell'Antico Egitto, attraversate da fasci di radiazioni ionizzanti, hanno a loro volta attraversato il tempo per raccontarci non solo la loro vita ma anche quella della loro epoca: esse sono sia segni diretti di dati fisio-patologici, tali da interessare la paleopatologia, sia testimonianza indiretta della cultura del periodo vissuto, tali da interessare l'antropologia e l'archeologia [6].

*Inoltre, proprio il procedimento di mummificazione, radicalmente modificatosi nel tempo, passando da un processo naturale di essiccazione delle mummie più antiche – operato, grazie alle eccezionali condizioni climatiche presenti in Egitto, dalle aride sabbie del deserto poste a diretto contatto con il corpo – ai sofisticati e complessi metodi di perfetta mummificazione artificiale operati dall'uomo – per mezzo di agenti disidratanti, come ad esempio la miscela di sali naturali a base di carbonato e bicarbonato di sodio detta *natron* e alcune resine – fornisce ulteriori dati molto importanti [7]. All'inizio della storia dell'Antico Egitto, nel Periodo Predinastico (prima del 3100 aC), il processo di mummificazione è infatti, come detto, sostanzialmente casuale poiché operato da fattori naturali e a noi giunto fortunosamente. È all'inizio del Periodo Arcaico (3100 aC) che il processo diventa artificiale, anche se molto semplice: il corpo infatti, lasciato intatto, viene unicamente avvolto da sottili strisce di lino. L'eviscerazione verrà eseguita a partire dall'inizio dell'Antico Regno (2778 aC) e il processo di mummificazione migliorerà progressivamente nel Nuovo Regno (Fig. 1) fino a perfezionarsi durante la XXI dinastia (1078–945 aC). In Epoca Tarda prima e Tolemaica poi (672–30 aC) l'arte gradualmente declinerà per ritornare a essere caratterizzata unicamente dal bendaggio esterno durante il periodo dell'occupazione romana (30 aC–IV secolo dC). Inoltre, a partire dall'inizio dell'Antico Regno, il processo, come detto, sempre più raffinato sembra essere stato un obbligo per i discendenti reali, poi allargato a personaggi altolocati, in*



Fig. 1 Mummy identified with Queen Tiy, found in 1898 in the tomb of Amenhotep II (Kings' Valley). A fine specimen of a mummified body of New Kingdom (XVIII dynasty). With kind permission from: Milano, Università degli Studi - Archivi di Egittologia (Fondo Loret).

Fig. 1 Mummia identificata con la regina Tiy, ritrovata nel 1898 nella tomba di Amenhotep II nella Valle dei Re. Bell'esempio di corpo mummificato risalente al Nuovo Regno (XVIII dinastia). Per gentile concessione: Milano, Università degli Studi, Archivi di Egittologia (Fondo Loret).

age and state of health or disease. The data are clearly closely interrelated [12].

The discovery of X-rays by Wilhelm Conrad Roentgen on 8 November 1895 was immediately perceived as a major breakthrough, not only for use on living beings. Significantly, a radiographic image of the mummified remains from Ancient Egypt was obtained only 3 months after the discovery [13]. The first application of radiography to the study of Egyptian mummies was not, however, the work of a radiologist but of an archaeologist: the earliest publication on the subject, dated 1898, was by Sir William Flinders Petrie, "the father of British Egyptology". He used the "unknown" rays to inspect the inside of an Egyptian sarcophagus from the Vienna Museum of Natural History and revealed – surprisingly – that it contained nonhuman remains. Given the technical difficulties encountered, Petrie later limited himself to obtaining radiographs of the mummies' lower limbs only [14] (Fig. 2). The radiographic technique initially enabled one to verify the presence or absence (so-called fake mummies) of human remains concealed in the wrappings [15]; locate jewellery (Fig. 3); identify the many false mummies prepared, especially in the late nineteenth century, to meet the growing demands of the mummy trade (so-called bogus mummies).



Fig. 2 Plate XXXVII of W.M. Flinders Petrie's "Deshasheh".

Fig. 2 Tavola XXXVII tratta dal volume di W.M. Flinders Petrie "Deshasheh".

seguito legato unicamente al censo e infine nemmeno a questo; nel periodo della dominazione persiana (VI–V secolo aC), infatti, ognuno poteva richiedere di essere mummificato scegliendo tra i tre differenti tipi di imbalsamazione: uno più costoso, uno semplice ed economico e uno intermedio [8–11]. Ne consegue che lo studio attento del tipo di mummificazione, delle sue varianti, del costume funerario permette di rilevare indirettamente lo stato sociale dell'individuo e il processo di identificazione culturale del periodo storico, mentre l'analisi radiografica diretta consente di ottenere informazioni circa il sesso e l'età dell'individuo, il suo stato di salute e di malattia. I dati, naturalmente, si compenetrano [12].

La scoperta dei raggi X da parte di Wilhelm Conrad Roentgen l'8 novembre 1895, fu percepita immediatamente come una grande svolta non solo per il mondo vivente. Significativo il fatto che tre mesi dopo tale scoperta fu eseguita un'immagine radiografica di resti mummificati dell'Antico Egitto [13]. La prima utilizzazione della tecnica radiografica applicata allo studio delle mummie dell'Antico Egitto non fu però opera di un radiologo ma di un archeologo: la prima pubblicazione in materia, del 1898, è infatti di Sir William Flinders Petrie, "il padre della egittologia britannica". I raggi "sconosciuti" furono da lui utilizzati per esa-



Fig. 3 X-ray of the mummy of Sethi I (New Kingdom; XIX dynasty), where a protective amulet (called “Horus’Eye”) is placed on the left humerus. With kind permission from: Milano, Università degli Studi - Archivi di Egittologia (Fondo Edel).

Fig. 3 Radiografia della mummia di Sethi I (Nuovo Regno, XIX dinastia) in cui si nota la presenza di un amuleto (detto “occhio di Horus”) posizionato in corrispondenza dell’omero di sinistra. Per gentile concessione: Milano, Università degli Studi, Archivi di Egittologia (Fondo Edel).

In 1912, in a fine description of the royal mummies of the Cairo Museum, Australian physician Grafton Elliot Smith (chair of anatomy at the Cairo School of Medicine from 1900 to 1909), who in 1904 X-rayed the mummy of Tuthmosis IV after having transported it to a nearby sanatorium on a horse-drawn hackney carriage, stated that “examination with the aid of X-rays would, no doubt, have provided much additional information” [16]. A few years later, in Paris in 1913, the use of X-rays to detect the presence of jewels concealed in the wrappings revealed a regional differentiation defect of the spine of a mummy of the XI Dynasty [17]. The radiographic study of the mummies of Ancient Egypt soon diversified according to the material X-rayed: common mummies and royal mummies. The first extensive

minare il contenuto di un sarcofago egizio del Museo di storia naturale di Vienna e dimostrarne – con sorpresa – il contenuto non umano. Date le difficoltà tecniche incontrate, egli stesso, in seguito, si accontentò di eseguire radiografie mirate ai soli arti inferiori delle mummie (Fig. 2) [14]. La tecnica radiografica permetteva inizialmente: di verificare la presenza o l’assenza di resti umani nascosti dal bendaggio (le c.d. “fake mummies”) [15]; di localizzare gioielli (Fig. 3); di identificare le molte false mummie appositamente preparate, in particolare a fine ‘800, in risposta alla crescente domanda in questo particolare mercato (le così dette “bogus mummies”).

Nel 1912, descrivendo con maestria le mummie reali del Museo del Cairo, il medico australiano Grafton Elliot Smith (titolare dal 1900 al 1909 della cattedra di Anatomia alla Scuola di Medicina del Cairo), che nel 1904 radiografò la mummia di Thutmosi IV dopo averla trasportata con una vettura di piazza a cavalli fino a un sanatorio nei pressi della città, dichiarò che “l’esame con i raggi X avrebbe senza dubbio fornito molte informazioni in più” [16]. Poco dopo a Parigi, nel 1913, usando i raggi X per verificare l’eventuale presenza di gioielli nascosti tra il bendaggio, fu notato un vizio di differenziazione regionale della colonna vertebrale in una mummia della XI dinastia [17]. Lo studio radiografico delle mummie dell’antico Egitto si diversificò subito a seconda del materiale radiografato: mummie “comuni” e mummie “reali”; il primo esteso studio radiografico è del 1931 e di tre anni dopo è il secondo studio radiologico di una mummia “reale” [18, 19].

Inizialmente la fonte radiogena utilizzata e il sistema di rilevazione a disposizione fornirono forzatamente immagini relativamente poco definite [18]. Conseguenza di ciò fu che, inizialmente, la tecnica di esame con metodo tradizionale, pur venendo sempre eseguita sfruttando tutte le proiezioni possibili (che però non potevano essere molte), poteva richiedere, per garantire una maggiore definizione, l’utilizzazione di materiale preparato, cioè “sbendato”, anche se solo in parte, e manipolato; questa “preparazione”, atta sia a cercare di eliminare eventuali artefatti provocati dalle immagini radiografiche delle bende sia a non tralasciare nulla di nascosto, rischiava tuttavia di danneggiare i resti mortali e causare inopportuni cambi di posizione di alcune strutture ossee [20]. Ci si avvide subito, inoltre, che le differenti tecniche di imbalsamazione utilizzate nei vari periodi davano variazioni considerevoli alla penetrazione dei raggi X fino a condizionare in certi casi la completa mancata visualizzazione di alcuni dettagli ossei; per contro, gli esami radiografici dimostrarono e fecero conoscere proprio una grande variabilità di trattamento nel processo di mummificazione, sia della testa che del corpo, arricchendo così le nozioni su questa tecnica [21].

Trent’anni dopo, a seguito di metodici e continui esami radiografici, potevano già essere documentate ed elencate

radiographic study dates back to 1931, and the second study of a royal mummy was carried out 3 years later [18, 19].

The x-ray source and detector systems used at the time inevitably provided relatively poorly defined images [18]. One result was that, initially, although always performed in all possible projections (which were nonetheless limited), the examination could require the use of “prepared” material, that is, at least partially unwrapped and manipulated, to ensure better definition. Such preparation to eliminate possible artefacts due to the bandages and make sure nothing remained undisclosed entailed a risk, however, of damaging the mortal remains and causing undesired changes in the position of some of the bony structures [20]. It was also soon realised that the different embalming techniques used in the various periods produced considerable differences in X-ray penetration, in some cases leading to complete failure to visualise some bony details. On the other hand, the radiographic studies revealed a wide variety of treatments, of both the head and the body, in the mummification process, thus adding to the information on this technique [21].

Thirty years later, following continuous and systematic radiographic studies, more than 100 observations on mummies from various museums (above all, in Britain and The Netherlands) had been reported, including diseases, pathophysiological abnormalities and paleopathological aspects such as osteoarthritis, ante- and postmortem fractures and dislocations (Fig. 4), isolated cases of miscellaneous bone diseases, presence of Harris lines, dental disorders, vascular calcification, stone disease, and intervertebral disc opacification [22]. Also, it was established that certain radiographic patterns of the humerus (for example, the presence of bone-surface rugosity, thinning of the diaphyseal cortical bone, hyperlucent areas in the humeral head) could be reasonably considered as indicators to establish an approximate age of the embalmed individual at the time of his or her death [23].

The radiographic technique was still, however, in its infancy. In the late 1960s, for example, with the use of the radioactive isotope Ytterbium 169 (^{169}Yb) as an X-ray source and film cassettes equipped with an image intensifier, exposure time ranged from 2 s to 5 min, depending on whether the mummy was still in its sarcophagus or protected only by a thin wooden board. Voltage ranged from kV, mAs amperage from 4.0 to 15.0 mAs and the film-focus distance was 60 in. (or just over 1.5 m). The entire body could be X-rayed or, alternatively, only the head (so-called cephalogram). As a result, contrast was often poor. To obviate the difficulties in transporting the mummy to an X-ray facility, as early as the 1970s, radiographic studies were carried out with portable equipment, which could be used in galleries and museums to obtain, where possible, radiographs of remains appropriately left on site [21]. Various aspects of the technique are still being refined [24].



Fig. 4 X-ray of the mummy of Amenhotep I (New Kingdom; XVIII dynasty) showing the anomalous position of the arms (with fracture and displacement), most likely occurred following re-wrapping by priests of the XX dynasty: on the left side, the radius and ulna are well separated from humerus and the hand is placed near the pelvis; on the right side, the radius and ulna are slightly bent and the hand is fractured. With kind permission from: Milano, Università degli Studi - Archivi di Egittologia (Fondo Edel).

Fig. 4 Radiografia della mummia di Amenhotep I (Nuovo Regno, XVIII dinastia) in cui si nota la posizione anomala delle braccia (condizionata da frattura e dislocazione), verosimilmente occorsa dopo essere stata ribandata dai sacerdoti della XX dinastia: a sinistra radio e ulna appaiono visibilmente separati dall'omero e la mano risulta sovrapposta in parte alla pelvi mentre a destra radio e ulna appaiono appena ripiegati e la mano presenta una frattura. Per gentile concessione: Milano, Università degli Studi, Archivi di Egittologia (Fondo Edel).

oltre un centinaio di osservazioni rilevate su mummie di vari musei (soprattutto dei musei di Gran Bretagna e Olanda) tra patologie, anomalie fisio-patologiche e aspetti paleopatologici, quali osteoartriti, fratture e dislocazioni ante e post-mortem (Fig. 4), casi isolati di patologia ossea varia, presenza di “linee di Harris”, malattie dentali, calcificazioni vascolari, presenza di calcolosi, opacizzazione di dischi intervertebrali [22]. E allo stesso modo si stabiliva che

Starting from the 1960s, the Egyptian mummies of some major museums started to be X-rayed and studied systematically. For example, in 1968, the Egyptian government approved the project of a team of researchers from the University of Michigan to X-ray all of the mummies preserved in the Cairo Museum [25]. This led to the collection and publication, in the 1980s, of the complete studies and important radiographic atlases that mark the fascinating history of the radiological study of the mummies of ancient Egypt [21, 26–29]. Large-scale radiological studies clearly continue today with surprising iconographic detail [30, 31].

That same period, and precisely 1972, saw the birth of the multidisciplinary research project of Manchester University (Manchester Mummy Project), a project that aimed to systematically study the mummies and within which radiology played a central role [32, 33]. This was followed by several other similar, albeit smaller, studies, such as the Minnesota Mummy Project and the National Museums of Scotland Mummy Project [34, 35].

However, it was at the end of the 1970s, with the advent of computed axial tomography (CT), that the study of Egyptian mummies experienced a true breakthrough. The use of this sophisticated tool for radiographic investigation, which images bodies in slices, not only broadened and better defined the field of investigation but also changed the approach to the archaeological find. The first CT study of an Egyptian mummy was carried out on a mummy of the XXII Dynasty in Toronto in 1977 [36]. In the 10 years that followed, numerous accurate CT studies were performed on individual mummies or on groups of mummies, as in the case of the study of one of the largest collections of Egyptian mummies, which is held by the Boston Museum of Fine Arts [37–41]. Such studies continue with increasingly sophisticated methods [42].

The advantages of the new imaging modality become immediately apparent. With the use of CT, researchers no longer needed to physically unwrap the mummy. The process was virtual, and the mummy was left unaltered: powerful X-ray sources combined with complex detector techniques and sophisticated postprocessing software made it possible not to touch the fragile specimen being examined, which could even be left inside its sarcophagus. In addition, the high spatial resolution combined with improved contrast, type of scan, and the possibility of measuring the densities of the mummy provided accurate documentation of both human remains and artificial materials, thus clearly expanding the scope of the study (Fig. 5). For example, a problem that was readily solved by CT scanning was that of the linen packets frequently contained in the mummies' thoracoabdominal cavity. These packets containing internal organs, which had been removed, dried and mixed with resins, often obscured the details of the skeleton on plain radiographic images (Fig. 6) [40].

alcuni aspetti radiografici dell'omero (come, per esempio, la presenza o meno di "rugosità" della superficie ossea, di assottigliamento della corticale diafisaria, di lacune iperdiafane nel contesto della testa omerale) potevano essere considerati a ragion veduta indicatori per stabilire approssimativamente l'età del soggetto mummificato al momento della sua morte [23].

La tecnica radiografica era comunque ancora ai suoi esordi. Alla fine degli anni '60 del secolo scorso, per esempio, con sorgente radiogena fornita dall'isotopo radioattivo Ytterbium 169 (¹⁶⁹Yb) e pellicola radiografica contenuta nella cassetta dotata di amplificatore di brillantezza, l'esposizione variava da due secondi a cinque minuti, a seconda che la mummia fosse ancora nel suo sarcofago o fosse protetta unicamente da una sottile asse di legno. I kV impiegati variavano da 70 a 90, i mA da 4,0 a 15,0 e la distanza oggetto-pellicola era pari a 60 pollici (poco più di un metro e mezzo); poteva essere radiografato tutto il corpo o soltanto la testa (così detto cefalogramma). Il contrasto quindi era spesso povero. Per ovviare all'inconveniente della difficile mobilitazione della mummia da radiografare si pensò e si attuò, già negli anni '70, l'utilizzo di un equipaggiamento radiografico di base "portatile", utile per lo studio nelle gallerie e nei musei e tale da permettere, ove possibile, di radiografare reperti lasciati opportunamente in situ [21]. Tale tecnica viene approfondita ancora oggi nei suoi vari componenti [24].

Dagli anni '60 in poi le mummie antico-egiziane di alcuni importanti musei iniziarono a essere radiografate e studiate sistematicamente. Per esempio, nel 1968, il Governo Egiziano approvò il progetto di un gruppo di ricercatori dell'Università del Michigan di radiografare tutte le mummie conservate nel Museo del Cairo [25]. Ciò permise alla tecnica radiografica semplice di trovare la sua massima espressione nella compilazione e nella pubblicazione, negli anni '80, di studi completi e di atlanti radiografici importanti che segnano l'affascinante storia dello studio radiografico delle mummie dell'Antico Egitto [21, 26–29]. Questi studi radiologici su larga scala continuano, ovviamente, tutt'oggi con dettagli iconografici sorprendenti [30, 31].

Non a caso fu proprio in quel periodo, più precisamente nel 1972, che nacque il progetto di studio sistematico interdisciplinare dell'Università di Manchester ("Manchester Mummy Project"), un progetto volto a creare uno studio unitario e all'interno del quale la parte radiologica aveva un ruolo cardine [32, 33]. Ad esso hanno fatto seguito numerosi studi analoghi, anche se di entità minore, come, ad esempio, quello in Minnesota ("Minnesota Mummy Project") e quello elaborato in Scozia ("National Museums of Scotland Mummy Project") [34, 35].

Ma è con la fine degli anni '70, e cioè con l'avvento della tomografia assiale computerizzata, che lo studio delle

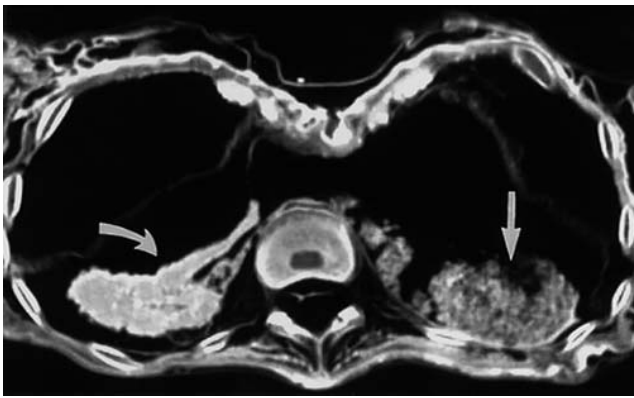


Fig. 5 Axial CT scan of the abdomen of a mummy with liver and left kidney. From [54].

Fig. 5 TAC dell'addome di una mummia con in evidenza fegato e rene sinistro. Da [54].

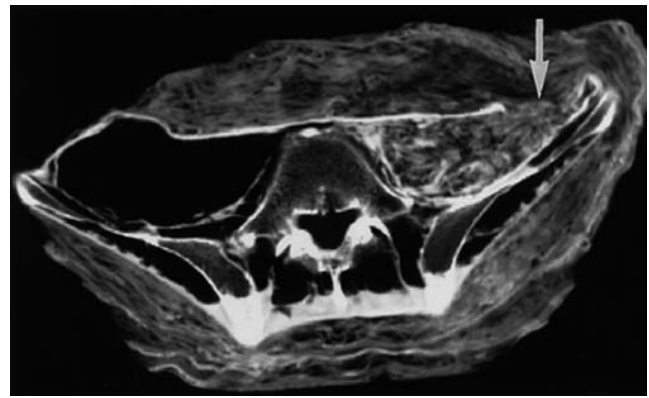


Fig. 6 Axial CT scan of the pelvis of a mummy with folded linens. From [54].

Fig. 6 TAC della pelvi di una mummia con riscontro di "pacchetti" di lino. Da [54].

Moreover, although metallic jewels were always readily identifiable on the plain radiogram as were larger jewels in faience, turquoise or wax (Fig. 7), the often numerous smaller jewels were only discovered when the mummies were scanned by CT [41]. In addition, by identifying the chemical components of the substances used for embalming, CT provided curators with valuable information to plan the restoration of the mummy [43, 44].

For a few years now, CT has been able to avail itself of multiple detector rows to capture the image, which is better defined as a result (MDCT) [45]. And, similarly to plain radiography, even CT (or MDCT) can be made "portable" so as to facilitate the study of particular finds: it can, in fact, be installed on a mobile facility, as was done for the study of the mummy of Pharaoh Tutankhamon (Selim A. "The first multidetector CT study of a royal Egyptian mummy: king Tutankhamon" Presentation at RSNA 27.11.2006) [46].

The medical discipline that sees through bodies, of the present and past alike, now also allows us to virtually reconstruct the entire mummified body, with the aid of sophisticated techniques capable of analysing in detail and then immediately processing a huge amount of data within seconds. CT is today the only non-destructive method for obtaining fundamental data for the three-dimensional reconstruction of the entire mummy (both of the face and of the body); the reconstruction is achieved by combining the axial images with the sagittal and coronal ones, the last obtained through "reformatting", thanks to an algorithm process known as post-processing. The possibility of reconstructing the mummy three-dimensionally, using voxels (unit of volume with x, y, z, coordinates and corresponding to a pixel in 2D imaging) allows one to obtain images that can be processed electronically on a dedicated workstation running specific software, and thus images that can be better

mummie dell'Antico Egitto ha assunto maggior valore e ha subito una svolta: l'utilizzo della sofisticata metodica di indagine radiografica che rappresenta i corpi "a fette" non solo ha allargato il campo di osservazione, peraltro definendolo maggiormente, ma ha altresì modificato l'approccio al reperto archeologico. La prima TAC a una mummia egizia fu eseguita a Toronto nel 1977 su una mummia della XXII dinastia [36]. Nei dieci anni successivi furono pubblicati numerosi e accurati studi TAC effettuati sia su singole mummie sia su gruppi di esse, come ne è esempio lo studio di una delle più grandi collezioni di mummie egizie e cioè quella del Museum of Fine Arts di Boston [37–41]. Questi studi continuano tutt'oggi con modalità sempre più sofisticate [42].

I vantaggi della nuova metodica furono subito evidenti. L'utilizzo della TAC permetteva di non sbendare la mummia, o meglio di sbendarla virtualmente, senza alterarla in nessun modo: le potenti sorgenti radiogene unite alle complesse tecniche di rilevazione e alle sofisticate elaborazioni elettroniche consentivano infatti di non toccare il fragile materiale in esame che poteva essere addirittura lasciato nel suo sarcofago. Inoltre, l'alta risoluzione spaziale unita al miglior contrasto, al tipo di scansione e alla possibilità di misurare le densità del materiale in esame, offriva accurate e dettagliate documentazioni sia dei resti umani sia del materiale artificiale, con evidenti maggiori possibilità di studio (Fig. 5). Per esempio, un problema sicuramente risolto subito dalla TAC fu quello dei frequenti "pacchetti" di lino contenuti nella cavità toraco-addominale della mummia; tali involucri infatti, contenenti organi interni rimossi, essiccati e mescolati con resine, tendevano con frequenza a mascherare i dettagli dello scheletro nella semplice immagine radiografica di base (Fig. 6) [40].

Inoltre, sebbene i gioielli metallici fossero sempre facil-



Fig. 7 X-ray of mummy of Queen Nedjemet (Third Intermediate Period; XXI dynasty) showing a large “Heart scarab” of intense radiopacity (probably not metallic) and the “Four Sons of Horus” of lesser radiopacity (moulded in wax) in the thorax. With kind permission from: Milano, Università degli Studi - Archivi di Egittologia (Fondo Edel).

Fig. 7 Radiografia della mummia della regina Nedjemet (Terzo Periodo Intermedio, XXI dinastia) in cui si nota la presenza nel torace, in sede paracardiaca, di un grande “scarabeo del cuore” di radiopacità intensa (ma verosimilmente non metallica) e dei “Quattro Figli di Horus” di radiopacità relativamente minore (modellati in cera). Per gentile concessione: Milano, Università degli Studi, Archivi di Egittologia (Fondo Edel).

studied [47]. 3D reconstruction allows accurate evaluation of embalming materials and methods, it provides anatomical models and visualises minor details in several planes, it illustrates the preservation of soft tissue and gives a detailed view of the physical appearance of the mummies. Such complex studies have continued since the late 1980s, often involving the close cooperation between museums and universities, as is the recent case of the research team from the University of Toulouse and the local Georges Labit Museum [48–56].

On July 1, 2004, the British Museum opened the Silicon

mente identificabili dal semplice radiogramma così come quelli non minuti di faience, turchese o cera (Fig. 7), i gioielli piccoli e spesso numerosi non vennero scoperti finché le mummie non furono sottoposte a esame TC [41]. In aggiunta a ciò la TC poteva dare alcune informazioni utili ai conservatori per pianificare il restauro delle mummie, potendo identificare al contempo i componenti chimici delle sostanze utilizzate per l’imbalsamazione [44].

Da qualche anno la TAC può avvalersi di un sistema di rilevazione multiplo, o meglio può utilizzare una fila di detectori per la cattura dell’immagine che risulta così più definita (MDCT) [45]. E come avvenuto per la struttura radiografica semplice, anche la TAC (o la MDCT) può essere “portatile”, al fine di facilitare l’esame di reperti particolari: può infatti essere installata su una struttura mobile, come è stato per lo studio della mummia del faraone Tutankhamon (Selim A. “The first multidetector CT study of a royal Egyptian mummy: King Tutankhamon” Presentation at RSNA 27.11.2006) [46].

La disciplina medica che consente di attraversare con lo sguardo i corpi, anche del passato, permette oggi inoltre di ricostruire virtualmente l’intero corpo mummificato, e ciò grazie alle sofisticate tecniche di indagine che in pochi secondi analizzano dettagliatamente e subito rielaborano una grande quantità di dati. La TAC infatti è oggi il solo metodo non invasivo per ottenere dati fondamentali per la ricostruzione tridimensionale dell’intera mummia (cioè tanto del volto quanto del corpo), ricostruzione realizzata mediante la combinazione delle immagini assiali con quelle sagittali e coronali, queste ultime ottenute per “riformattazione”, grazie a un processo di algoritmi chiamato post-processing. La possibilità di ricostruire virtualmente la mummia nel suo volume, cioè in 3D, usando voxel (unità di volume con coordinate x, y, z , conosciuto come pixel nel mondo 2D) permette di ottenere immagini che possono essere elaborate elettronicamente, utilizzando una workstation dedicata dotata di software specifico, e quindi meglio studiate [47]. Con la ricostruzione in 3D è possibile valutare con accuratezza i materiali e i metodi di mummificazione, avere modelli anatomici e minimi particolari in più piani, illustrare la preservazione dei tessuti molli e, in dettaglio, l’aspetto fisico delle mummie. Tali complessi studi proseguono analiticamente dalla fine degli anni ‘80 a oggi, spesso mettendo in stretta collaborazione musei con università, come è nel caso del recente gruppo di studio dell’Università di Tolosa con il locale Museo Georges Labit [48–56].

Il 1 luglio 2004, presso il British Museum, è stato aperto al pubblico il Silicon Graphic Reality Center dove i visitatori possono esplorare in un viaggio virtuale di ventidue minuti una mummia della XXII dinastia virtualmente ricostruita.

Ancora, utilizzando le immagini TAC o MDCT del volto e associando sofisticati processi di elaborazione e programmi

Graphics Reality Center where visitors can explore, in a virtual tour lasting 22 minutes, a mummy of the XXII dynasty that has been totally reconstructed virtually.

Additionally, over the past ten years, the use of CT or MDCT images of the face in combination with sophisticated processing and graphics software has made it possible to carry out a complex and suggestive three-dimensional reconstruction of the contours of mummy's original face at an age close to that of his or her death. The digital model obtained from the virtual three-dimensional CT data of the skull surface is used as a basis either for stereolithography (which, with the assistance of a sculptor, starts from a resin prototype to reconstruct the different thicknesses of the facial tissues and create a face) or for computer-aided reconstruction (which creates a face for the individual, which, if not a true likeness, appears scientifically consistent with the available data) or for "completely computerised and virtual" reconstruction (the head and the face are completely reconstructed by the computer) [57–63].

The dehydrated body of the mummy, which does not produce sufficient signal to generate a resonance image, clearly represents a limitation for the use of magnetic resonance imaging, although this modality has already been used to visualise some residual nervous structures [34, 64].

Conventional endoscopy, by means of a flexible or stiff fibre-optic endoscope, has instead been successfully used for many years in the study of Egyptian mummies, both for the non-destructive study of the head and neck region – especially to study the nasal cavities and auditory passages – and as a basic aid for tissue biopsies [33, 65, 66].

Today, the high quality of standard radiographic images, conventional axial CT imaging, multiplanar reformation, three-dimensional reconstruction, facial reconstruction and finally the suggestive virtual "flight" through the inside of the mummy obtained with the use of virtual endoscopy are all methods that are employed in the radiological study of the mummies of ancient Egypt. Imaging techniques, from the most basic to the most sophisticated have therefore taken on a fundamental role in this field of study, and the history of imaging has shown that advances in radiographic technique, from the discovery of x-rays over a century ago to the three-dimensional reconstructions of today, have led from clinical hypotheses to accurate and reliable analyses and fascinating multiplanar image reconstructions.

The close collaboration of physicians, archaeologists and engineers thus expands our medical and historical knowledge of ancient Egypt, while ensuring that the integrity of this shared archaeological heritage is preserved.

di grafica elettronica, da circa dieci anni può essere eseguita la complessa e suggestiva ricostruzione facciale tridimensionale di base che porta a delineare il volto originario della mummia presa in esame, simulato in un'età vicina a quella dell'individuo al momento della morte. Il modello digitale che si ottiene partendo dai dati TAC tridimensionali virtuali della superficie del cranio è usato come base o per lo sviluppo della tecnica stereolitografica (che con l'aiuto di uno scultore, partendo da un prototipo di resina, ricostruisce i differenti spessori dei tessuti facciali creando così un volto) o per la ricostruzione "assistita dal computer" (che crea un volto dell'individuo che, se non somigliante, appare scientificamente coerente con le informazioni a disposizione) o ancora per la ricostruzione "completamente computerizzata e virtuale" (una ricostruzione del capo e del volto operata dal computer) [57–63].

L'essiccato e disidratato corpo della mummia, che non fornisce segnale sufficiente per generare una immagine di risonanza, rimane ovviamente un limite per l'uso dell'esame di risonanza magnetica, sebbene tale esame sia stato già utilizzato per visualizzare unicamente alcune strutture nervose residuali [34, 64].

La tecnica endoscopica tradizionale, mediante endoscopio flessibile o rigido a fibre ottiche, è invece da tempo validamente utilizzata per lo studio delle mummie egizie, sia per un esame non distruttivo del capo e del collo – in particolare per lo studio delle cavità nasali e dei condotti uditivi – sia come base di supporto per eventuali biopsie [33, 65, 66].

Oggi, l'alta qualità della immagine radiografica "standard", l'immagine TC assiale convenzionale, la riformattazione multiplanare, la ricostruzione tridimensionale, la ricostruzione del volto e, da ultimo, anche il suggestivo "volo" virtuale attraverso l'interno della mummia, ottenuto sfruttando le tecniche di endoscopia virtuale, sono tutte metodiche che vengono utilizzate nell'analisi radiografica delle mummie dell'Antico Egitto. Gli studi di imaging quindi, dai più semplici ai più sofisticati, hanno assunto oggi più che mai un ruolo fondamentale in questo studio e la loro storia ha dimostrato che i progressi nella tecnologia radiografica, dalla prima scoperta avvenuta più di cento anni fa alle ultime ricostruzioni tridimensionali, conducono da ipotesi cliniche ad analisi accurate e affidabili nonché ad affascinanti ricostruzioni iconografiche multiplanari.

La stretta cooperazione di medici, archeologi e ingegneri aumenta così le nostre conoscenze mediche e storiche dell'Antico Egitto, preservando intatto questo patrimonio archeologico comune.

References/Bibliografia

1. David R (1978) *Mystery of the mummies: the story of the unwrapping of a 2000 year old mummy by a team of experts*. Charles Scribner's Sons, New York
2. Fischer LP (2006) Three Copt mummies of Antinoe in Lyon. *Hist Sci Med* 40:49–60
3. Dannenfeldt KM (1985) Egyptian mumia: the sixteenth century experience and debate. *Sixteenth Century Journal* 16:163–180
4. Paré A (1584) *Discours d'Ambröise Paré: a savoir, de la mumie, de la liocorne, de venins, de la peste*. Paris
5. Pollès R (2001) *La momie de Khéops à Hollywood*. Les Éditions de l'Amateur, Paris
6. Volpe E, Volpe U (2005) Pharaohs' diseases surveyed with modern diagnostics. *Lakartidningen* 102:3398
7. Tchaplá A, Mejanelle P, Bleton J et al (2004) Characterisation of embalming materials of a mummy of the Ptolemaic era. Comparison with balms from mummies of different eras. *J Sep Sci* 27:217–234
8. *Erodoto Storie, Libro II, 85–90* Garzanti, Milano
9. Brier B (1994) *Egyptian mummies: Unravelling the secrets of an ancient art*. William Morrow, New York
10. Aufderheide AC (2003) *The scientific study of mummies*. Cambridge University Press, Cambridge
11. Bahn PG (1992) The making of a mummy. *Nature* 356:109
12. Isherwood I, Hart CW (1992) The radiological investigation. In: David AR, Tapp E (eds) *The mummy's tale*. Michael O'Mara Books, London, pp 100–111
13. König W (1896) 14 Photographien mit Röntgen-Strahlen, aufgenommen im Physikalischen Verein. JA Barth, Frankfurt A.M. Leipzig
14. Flinders Petrie WM (1898) *Deshasheh (Memoir of the Egypt Exploration Fund, XV)*, London
15. Filer J (1995) *Disease*. British Museum Press, London
16. Smith GE (1912) *The Royal Mummies. Catalogue général des antiquités égyptiennes du Musée du Caire. Nos. 61051–61100*. Service des antiquités de l'Égypte, Cairo
17. Bertolotti M (1913) Une vertèbre lombaire surnuméraire complète chez une momie égyptienne de la XI Dinastie. *Nouvelle iconographie de la Salpêtrière Tome XXVI*, 63–65
18. Moodie RL (1932) Roentgenologic studies of Egyptian and Peruvian mummies. *American Anthropologist, New Series* 34:710–711
19. Derry DE (1934) All x-ray examination of the mummy of king Amenophis I. *Ann Serv Antiq Egypte* 34:47–48
20. Gardner JC, Garvin G, Nelson AJ et al (2004) Paleoradiology in mummy studies: the Sulman mummy project. *Can Assoc Radiol J* 55:228–234
21. Whitehouse WM (1980) Radiological findings in the royal mummies. In: Harris JE, Wente EF (eds) *An X-ray atlas of the royal mummies*. University of Chicago Press, Chicago, pp 286–327
22. Gray PH (1967) Radiography of ancient Egyptian mummies. *Med Radiogr Photogr* 43:34–44
23. Schranz D (1959) Age determination from the internal structure of the humerus. *Am J Phys Anthropol* 17:273–278
24. Conlogue G, Nelson AJ (1999) The use of the Polaroid photographic imaging system to produce radiographic images at a field archaeological site in Peru. *Radiol Technol* 70:121–128
25. Harris JE, Hussein F (1968) The identification of the Eighteenth Dynasty royal mummies; a biological perspective. *Int J Osteoarchaeology* 1:235–239
26. Dawson WR, Gray PHK (1968) *Catalogue of the Egyptian Antiquities in the British Museum: Mummies and Human Remains*. The British Museum, London
27. Harris JE, Weeks K (1973) *X-raying the pharaohs*. Macdonald, London
28. Cockburn A, Cockburn E (1980) *Mummies, disease and ancient cultures*. Cambridge University Press, Cambridge
29. Braunstein EM, White SJ, Russel W et al (1988) Paleoradiologic evaluation of the Egyptian royal mummies. *Skeletal Radiol* 17:348–352
30. Raven MJ, Taconis WK (2005) *Egyptian Mummies: Radiological Atlas of the Collections of the National Museum of Antiquities. Papers on Archaeology of the Leiden Museum of Antiquities*, Leiden
31. Guidotti MC (2001) *Le mummie del museo egizio di Firenze*. Giunti, Firenze
32. David AR (1979) *The Manchester Museum Mummy Project*. Manchester Museum, Manchester
33. David AR, Tapp E (1984) *Evidence Embalmed: Modern Medicine and the Mummies of Ancient Egypt*. Manchester University Press, Manchester
34. Notman DNH, Tashjian J, Aufderheide AC et al (1986) Modern imaging and endoscopic biopsy techniques in Egyptian mummies. *AJR Am J Roentgenol* 146:93–96
35. Eremin K, Wright A, Macleod I (1998) *The NMS Mummy Project. The Glyph 3:8–10*
36. Harwood-Nash CD (1979) Computed tomography of ancient Egyptian mummies. *J Comput Assist Tomogr* 3:768–773
37. Pahl WM (1980) Computed tomography: a new radiodiagnosical technique applied to medico-archaeological investigation of Egyptian mummies. *Antrop Contemp* 3:37–44
38. Pahl WM (1981) *La tomographie par ordinateur appliquée aux momies Égyptiennes: aperçu de l'état actuel de recherches*. Bull Mem Soc Antrop Paris 8:343–356
39. Castor WR, Baker CG (1982) CT of an Egyptian mummy. *G.E.C.T. Clinical Symposium* 5:10
40. Vahey T, Brown D (1984) *Comely Wenuhotep: computer tomography of an Egyptian mummy*. *J Comput Assist Tomogr* 8:992–997
41. Marx M, D'Auria S (1986) CT examination of eleven Egyptian mummies. *RadioGraphics* 6:321–330
42. Kieser J, Dennison J, Anson D et al (2004) Spiral computed tomographic study of a pre-Ptolemaic Egyptian mummy. *Anthropological Science* 112:91–96
43. Uda M, Demortier G, Nakai I (2005) *X-rays for Archaeology*. Springer, Berlin Heidelberg New York
44. Ruhli FJ, Boni T (1999) Radiological aspects and interpretation of post-mortem artefacts in ancient Egyptian mummies from Swiss Collections. *Int J Osteoarchaeology* 10:153–157
45. Cesarani F, Martina MC, Ferraris A et al (2003) Whole-body three-dimensional multidetector CT of 13 Egyptian mummies. *AJR Am J Roentgenol* 180:597–606
46. Forbes D, Ikram S, Kamrin J (2007) Tutankhamen's missing ribs. *KMT* 18:51–56

47. Seipel S, Lindkvist M (2002) Methods and application of interactive 3D computer graphics in anthropology. Technical Report 2002-002; ISSN 1404-3203. Department of Information Technology. Uppsala Universitet, Uppsala
48. Lewin PK (1988) First stereoscopic images from CT reconstructions of mummies. *AJR Am J Roentgenol* 151:1249
49. Marx M, D'Auria S (1988) Three-dimensional CT reconstructions of an ancient human Egyptian mummy. *AJR Am J Roentgenol* 150:147–149
50. Pickering RB, Conces DJ, Braunstein EM et al (1990) Three-dimensional computed tomography of the mummy Wenuhotep. *Am J Phys Anthropol* 83:49–55
51. Baldock C, Hughes SW, Whittaker DK et al (1994) 3-D reconstruction of an ancient Egyptian Mummy using X-ray computer tomography. *J R Soc* 87:806–808
52. Melcher AH, Holowka S, Pharoah M et al (1997) Non-invasive computed tomography and three-dimensional reconstruction of the dentition of a 2,800-year-old Egyptian mummy exhibiting extensive dental disease. *Am J Phys Anthropol* 103:329–340
53. Macleod RI, Wright AR, McDonald MC et al (2000) Mummy 1911-210-1. *J R Coll Surg Edinb* 45:85–92
54. Hoffman H, Torres WE, Ernst RD (2002) Paleoradiology: Advanced CT in the Evaluation of Nine Egyptian Mummies. *Radiographics* 22:377–385
55. Kieser J, Dennison J, Anson D et al (2004) Spiral computed tomographic study of a pre-Ptolemaic Egyptian mummy. *Anthropological Science* 112:91–96
56. Pomar P, Moreno B, Arrué J (2006) 3D volumetric visualization in anatomy, biology and anthropology. *Modélisation Anatomique et Antropologique Tridimensionnelle*. Toulouse III University. *Science et Vie* 1070:88–92
57. Hjalgrim H, Lynnerup NL, Liversage M et al (1995) Stereolithography: potential applications in anthropological studies. *Am J Phys Anthropol* 97:329–333
58. Bou C, Pomar P, Pessey JJ et al (1998) Three-dimensional facial reconstruction of computerized tomography images by computer-aided design: example of an anthropologic study. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 119:335–350
59. Attardi G, Betrò M, Forte M et al (1999) 3D facial reconstruction and visualization of ancient Egyptian mummies using spiral CT data. *Sketches and Applications, ACM SIGGRAPH*, Los Angeles
60. Hoffman H, Hudgins PA (2002) Head and skull base features of nine Egyptian mummies: evaluation with high-resolution CT and reformation techniques. *AJR Am J Roentgenol* 178:1367–1376
61. Manley B, Emerin K, Shortland A et al (2002) The facial reconstruction of an Ancient Egyptian Queen. *J Audiov Media Med* 25:155–159
62. Cesarani F, Martina MC, Grilletto R et al (2004) Facial reconstruction of a wrapped Egyptian mummy using MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 183:755–758
63. Hughes S, Wright R, Barry M (2005) Virtual reconstruction and morphological analysis of the cranium of an ancient Egyptian mummy. *Austral Phys Eng Sci Med* 28:122–127
64. Posh JC, Monge J (1999) Magnetic resonance evaluation of mummified remains with computed tomography correlation. 26th Annual Meeting of the Paleopathology Association, Columbus
65. Isidro A, Malgosa A, Esteban J et al (2006) Egyptian mummy endoscopic examination. Evaluation of the results. *Med Clin* 127:622–625
66. Hagedorn HG, Zink A, Szeimies U et al (2004) Macroscopic and endoscopic examinations of the head and neck region in ancient Egyptian mummies. *HNO* 52:413–422